



**Escola de Camins**

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports

UPC BARCELONATECH

# IMPLEMENTACIÓN DE METODOLOGÍA BIM EN EL PROJECT MANAGEMENT

Trabajo realizado por:

**Santiago Agustí Brugarolas**

Dirigido por:

**Jose Turmo**

**Jose Antonio Lozano**

Grado en:

**Ingeniería Civil**

Barcelona, 22/09/2016

Departamento de construcción.

**TRABAJO FINAL DE GRADO**



# Índice

I.	RESUMEN .....	1
II.	RESUM .....	2
III.	ABSTRACT .....	3
1.	OBJETIVOS Y METODOLOGÍA .....	4
2.	BUILDING INFORMATION MODELLING (BIM).....	5
2.1	¿QUÉ ES EL BIM? .....	5
2.2	EL CAMINO HASTA EL BIM .....	6
2.3	¿QUÉ CAMBIOS SUPONE EL BIM RESPECTO AL SISTEMA CAD? .....	8
2.4	EL BIM EN EL MUNDO .....	12
2.5	ESTRATEGIAS DE IMPLANTACIÓN BIM .....	16
2.6	METODOLOGÍA Y HERRAMIENTAS BIM .....	19
2.6.1	<i>Niveles del BIM</i> .....	19
2.6.2	<i>Trabajo colaborativo</i> .....	21
2.6.3	<i>IFC y COBie. Interoperabilidad</i> .....	26
2.6.4	<i>Modelado digital 3D</i> .....	28
2.6.5	<i>Modelado paramétrico</i> .....	29
2.6.6	<i>LOD (Level of detail) o Nivel de desarrollo</i> .....	29
2.7	APLICACIONES DEL BIM.....	31
2.7.1	<i>Planificación y gestión de Proyectos</i> .....	31
2.7.2	<i>Mediciones y control de costes</i> .....	32
2.7.3	<i>Estructura e Instalaciones</i> .....	36
2.7.4	<i>Análisis y estudios de eficiencia energética</i> .....	37
2.8	¿ES POSIBLE MEDIR LOS BENEFICIOS DEL BIM RESPECTO AL SISTEMA TRADICIONAL? .....	39
3.	PROJECT MANAGEMENT DE PROYECTOS REALIZADOS CON METODOLOGÍA BIM .....	46
3.1	IMPLANTACIÓN BIM EN ORGANIZACIONES .....	46
3.2	ORGANIZACIÓN INICIAL.....	48
3.3	FASE DE DISEÑO .....	55
3.4	FASE DE CONSTRUCCIÓN .....	64
3.4.1	<i>Control de costes</i> .....	64
3.4.2	<i>Control planificación</i> .....	66
3.4.3	<i>Control de riesgos</i> .....	67
3.4.4	<i>Gestión de la construcción</i> .....	69
3.5	FASE DE EXPLOTACIÓN .....	74
3.5.1	<i>Estrategia de mantenimiento</i> .....	76
3.5.2	<i>Gestión de mantenimiento</i> .....	77
4.	CASO PRÁCTICO: VIVIENDA UNIFAMILIAR EN BELLATERRA .....	80
4.1	CREACIÓN MODELO BIM: SOFTWARE REVIT .....	80
4.1.1	<i>Antecedentes del Proyecto</i> .....	80
4.1.2	<i>Creación modelo BIM</i> .....	82
4.2	EXPLOTACIÓN DEL MODELO BIM .....	92
4.2.1	<i>Creación de documentación gráfica</i> .....	92
4.2.2	<i>Extracción presupuesto</i> .....	94
4.2.3	<i>Vinculación modelo con planificación ejecución obra</i> .....	98
5.	CONCLUSIONES.....	103
5.1	APORTACIONES DEL BIM A LA REDACCIÓN Y EJECUCIÓN DE PROYECTOS .....	103
5.2	LIMITACIONES.....	104
5.3	IMPLEMENTACIÓN DEL BIM EN EL PROJECT MANAGEMENT .....	105

<b>6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>106</b>
<b>ANEXO 1. BIM PROJECT EXECUTION PLAN .....</b>	<b>108</b>
<b>ANEXO 2. ACTA INICIO OBRA.....</b>	<b>109</b>
<b>ANEXO 3. HOJA CONTROL ECONÓMICO.....</b>	<b>110</b>
<b>ANEXO 4. CUADRO RIESGOS.....</b>	<b>111</b>
<b>ANEXO 5. ORDEN MODIFICACIÓN .....</b>	<b>112</b>
<b>ANEXO 6. HOJA RESUMEN PRECIOS CONTRADICTORIOS.....</b>	<b>113</b>
<b>ANEXO 7. MAPA SERVICIOS.....</b>	<b>114</b>
<b>ANEXO 8. PLANOS ESTRUCTURA PROYECTO .....</b>	<b>115</b>
<b>ANEXO 9. PLANOS ESTRUCTURA MODELO .....</b>	<b>116</b>
<b>ANEXO 10. PLANOS FASES PROCESO CONSTRUCTIVO .....</b>	<b>117</b>
<b>ANEXO 11. PRESUPUESTO OBRA ESTRUCTURA .....</b>	<b>118</b>
<b>ANEXO 12. PLAN DE OBRA ESTRUCTURA .....</b>	<b>119</b>
<b>ANEXO 13. SIMULACIÓN NAVISWORKS .....</b>	<b>120</b>

# Tablas

Tabla 1. Principales diferencias entre metodología CAD y BIM. Fuente: <a href="https://prezi.com/qqt27qgvtssc/introduccion-al-bim/">https://prezi.com/qqt27qgvtssc/introduccion-al-bim/</a>	10
Tabla 2. Tipología de estrategias de implantación. Fuente: <a href="https://www.youtube.com/watch?time_continue=277&amp;v=bH1CzoyCNqA">https://www.youtube.com/watch?time_continue=277&amp;v=bH1CzoyCNqA</a>	18
Tabla 3. Medidas y unidades de medición empleadas para medir el retorno e inversión del uso BIM en proyectos constructivos. Fuente: How to measure the benefits of BIM – A case of study approach, Kristen Barlish, Kenneth Sullivan, Arizona State University, United States, 17 february 2012.	42
Tabla 4. Resultados Caso 1. Fuente: How to measure the benefits of BIM – A case of study approach, Kristen Barlish, Kenneth Sullivan, Arizona State University, United States, 17 february 2012.	43
Tabla 5. Resultados Caso 2. Fuente: How to measure the benefits of BIM – A case of study approach, Kristen Barlish, Kenneth Sullivan, Arizona State University, United States, 17 february 2012.	43
Tabla 6. Resultados Caso. Fuente: How to measure the benefits of BIM – A case of study approach, Kristen Barlish, Kenneth Sullivan, Arizona State University, United States, 17 february 2012.	44
Tabla 7. Resultados encuestas Project Managers. Fuente: How to measure the benefits of BIM – A case of study approach, Kristen Barlish, Kenneth Sullivan, Arizona State University, United States, 17 february 2012.	44

# Figuras

Figura 1. Nivel de esfuerzo requerido por cada una de las metodologías de trabajo en las distintas fases de proyecto. Fuente: <a href="http://wordpress.archigraphic.de/en/2015/04/20/bim-vs-hoai/">http://wordpress.archigraphic.de/en/2015/04/20/bim-vs-hoai/</a>	10
Figura 2. Nivel de recursos requeridos en cada una de las fases de proyecto según la metodología empleada. Fuente: <a href="http://www.arquiparados.com/t583-cad-vs-bim-quien-ganara-esta-guerra">http://www.arquiparados.com/t583-cad-vs-bim-quien-ganara-esta-guerra</a>	11
Figura 3. Incremento de recursos requeridos en el cambio de metodología BIM a CAD en la fase de diseño. Fuente: <a href="http://www.arquiparados.com/t583-cad-vs-bim-quien-ganara-esta-guerra">http://www.arquiparados.com/t583-cad-vs-bim-quien-ganara-esta-guerra</a>	11
Figura 4. Evolución del número de búsquedas de los términos CAD (rojo) y BIM (azul) en Google. Fuente: <a href="http://www.arquiparados.com/t583-cad-vs-bim-quien-ganara-esta-guerra">http://www.arquiparados.com/t583-cad-vs-bim-quien-ganara-esta-guerra</a>	12
Figura 5. Plan de trabajo de la Comisión BIM en España (es.BIM). Fuente: <a href="http://www.esbim.es/es-bim/organizacion/">http://www.esbim.es/es-bim/organizacion/</a>	13
Figura 6. Logo de la Comisión BIM en España (es.BIM). Fuente: <a href="http://www.esbim.es/">http://www.esbim.es/</a>	13
Figura 7. Estructura organizativa de la Comisión BIM en España (es.BIM). Fuente: <a href="http://www.esbim.es/es-bim/organizacion/">http://www.esbim.es/es-bim/organizacion/</a>	14
Figura 8. Representación de las estrategias de implantación de una metodología en diversos mercados. Fuente: <a href="http://www.bimthinkspace.com/2014/07/episode-19-top-down-bottom-up-and-middle-out-bim-diffusion.html">http://www.bimthinkspace.com/2014/07/episode-19-top-down-bottom-up-and-middle-out-bim-diffusion.html</a>	17
Figura 9. Estrategias de implantación de metodología BIM en España prevista por es.BIM. Fuente: <a href="http://www.esbim.es/faqs/">http://www.esbim.es/faqs/</a>	18
Figura 10. Representación de niveles BIM. Fuente: <a href="https://redshift.autodesk.com/4-tips-to-getting-your-bim-pilot-project-off-the-ground/">https://redshift.autodesk.com/4-tips-to-getting-your-bim-pilot-project-off-the-ground/</a>	20
Figura 11. Representación esquemática de los diversos posibles agentes involucrados a un modelo BIM. Fuente: <a href="http://blogt.bcu.ac.uk/bsbe/">http://blogt.bcu.ac.uk/bsbe/</a>	22
Figura 12. Flujo de trabajo circular metodología BIM. Fuente: <a href="http://ctformacion.com/bruselas-desea-implantar-bim-en-la-union-europea/">http://ctformacion.com/bruselas-desea-implantar-bim-en-la-union-europea/</a>	23
Figura 13. (izq.): Logo herramienta digital Revizto. Fuente: <a href="https://revizto.com/es/">https://revizto.com/es/</a>	25
Figura 14. (der.): Ejemplo visualización proyecto en Revizto. Fuente: Captura herramienta Revizto.	25
Figura 15. Modificación de las relaciones entre agentes según metodología tradicional y BIM. Fuente: <a href="http://www.dds-cad.de/produkte/ihr-mehrwert/open-bim-und-ifc/">http://www.dds-cad.de/produkte/ihr-mehrwert/open-bim-und-ifc/</a>	27
Figura 16. Interoperabilidad entre distintas herramientas gracias a IFC. Fuente: <a href="http://visualmotion.com/pageview.aspx?id=30967">http://visualmotion.com/pageview.aspx?id=30967</a>	27
Figura 17. Evolución archivos IFC. Fuente: <a href="https://www.buildingsmartcanada.ca/open-standards/">https://www.buildingsmartcanada.ca/open-standards/</a>	28
Figura 18. Ejemplo niveles de definición en apoyo estructura metálica. Fuente: Level of Development Specification, version 2015, BIM Forum.	30
Figura 19. Proceso extracción de mediciones modelo BIM. Fuente: Elaboración propia.	34
Figura 20. Visualización área de trabajo herramienta Medit (Autodesk). Fuente: <a href="http://bimiberica.es/aplicaciones/medit/">http://bimiberica.es/aplicaciones/medit/</a>	36
Figura 21. Importación modelo BIM al software de cálculo CypeCAD. Fuente: <a href="http://www.soloarquitectura.com/">http://www.soloarquitectura.com/</a>	37
Figura 22. Esquema creación metodología medida beneficios del BIM en proyectos. Fuente: Elaboración propia.	41

Figura 23. Flujograma elaboración esquema general de gestión de proyecto. Fuente: elaboración propia.	50
Figura 24. Tabla codificación Uniclass 2015, Entidades . Fuente: <a href="https://toolkit.thenbs.com/">https://toolkit.thenbs.com/</a>	51
Figura 25. Ejemplo definición LODs de BIM Forum . Fuente: Level of Development Specification, version 2015, BIM Forum.	52
Figura 26. Ejemplo definición LODs de BIM Forum . Fuente: Level of Development Specification, version 2015, BIM Forum.	53
Figura 27. Flujograma elaboración BIM PxP Starting Point. Fuente: elaboración propia.	54
Figura 28. Flujograma dirección de proyecto. Fuente: Elaboración propia.	57
Figura 29. Flujograma fase de diseño proyectos BIM. Fuente: Elaboración propia.	60
Figura 30. Flujograma contratación proyectos BIM. Fuente: Elaboración propia.	63
Figura 31. Flujograma control económico proyectos BIM. Fuente: Elaboración propia.	65
Figura 32. Flujograma control planificación proyectos BIM. Fuente: Elaboración propia.	67
Figura 33. Flujograma control de riesgos proyectos BIM. Fuente: Elaboración propia.	68
Figura 34. Flujograma gestión de la construcción de proyectos BIM. Fuente: Elaboración propia.	70
Figura 35. Flujograma gestión órdenes de modificación proyectos BIM. Fuente: Elaboración propia.	73
Figura 36. Ejemplo reparto de la inversión en un proyecto a lo largo de su vida útil. Fuente: BIM BAM BOOM, (Patrick MacLeamy, CEO, HOK) <a href="http://www.youtube.com/watch?v=5lgdcCemevl">http://www.youtube.com/watch?v=5lgdcCemevl</a>	74
Figura 37. Vinculación de los distintos modelos empleados en la fase de diseño y construcción en un modelo de Facility Management. Fuente: Documento 3. Capacidades tecnológicas del BIM, Facility Management, Curso Zigurat BIM A.0.	75
Figura 38. Flujograma estrategia de mantenimiento proyectos BIM. Fuente: Elaboración propia.	76
Figura 39. Flujograma gestión de mantenimiento proyectos BIM. Fuente: Elaboración propia.	78
Figura 40. Ubicación Bellaterra, Cerdanyola del Vallés. Fuente: Google Maps.	80
Figura 41. Ubicación de la parcela del proyecto. Fuente: Agustí–Balcells Arquitectos.	81
Figura 42. Estado final de la obra. Fuente: Agustí–Balcells Arquitectos.	82
Figura 43. Empleo de niveles para el modelado. Fuente: Captura herramienta Revit.	83
Figura 44. Carpeta con plantillas preparadas para ser importadas a las vistas de planta. Fuente: Captura herramienta Revit.	84
Figura 45. Planos referencia representados en planta forjado sanitario. Fuente: Captura herramienta Revit.	84
Figura 46. Planos referencia representados en planta baja. Fuente: Captura herramienta Revit.	85
Figura 47. Conjunta de carpetas contenidas en la biblioteca de elementos Revit. Fuente: Captura herramienta Revit.	85
Figura 48. Visualización modelado cimentación. Fuente: Captura herramienta Revit.	86
Figura 49. Propiedades muro básico empleado en modelo. Fuente: Captura herramienta Revit.	87
Figura 50. Empleo de propiedades de viga de cubierta para su modelado y ubicación. Fuente: Captura herramienta Revit.	88
Figura 51. Empleo de niveles para ubicación viguetas inclinadas de cubierta. Fuente: Captura herramienta Revit.	88
Figura 52. Vista 1 modelo con intersecciones con caja de sección. Fuente: Captura herramienta Revit.	89
Figura 53. Vista 2 modelo con intersecciones con caja de sección. Fuente: Captura herramienta Revit.	89
Figura 54. Establecimiento de fases del proyecto. Fuente: Captura herramienta Revit.	90

Figura 55. Filtros empleados en las visualizaciones del modelo. Fuente: Captura herramienta Revit.	91
Figura 56. Modo de representación de los elementos según la fase a la que pertenecen. Fuente: Captura herramienta Revit.	92
Figura 57. Esquema elaboración planos Revit. Fuente: Elaboración propia.	93
Figura 58. Esquema extracción mediciones modelo Revit. Fuente: Elaboración propia.	95
Figura 59. Ventana Propiedades de tipo pozo cimentación. Fuente: Captura herramienta Revit.	96
Figura 60. Ventana Propiedades de tabla de planificación. Fuente: Captura herramienta Revit.	97
Figura 61. Tablas planificación empleadas para la elaboración del presupuesto. Fuente: Captura herramienta Revit.	97
Figura 62. Ejemplo Tabla planificación/Cantidades. Fuente: Captura herramienta Revit.	98
Figura 63. Esquema obtención simulación proceso constructivo. Fuente: Elaboración propia.	99
Figura 64. Vista software Navisworks Manage. Fuente: Captura herramienta Navisworks.	100
Figura 65. Menú Time Liner herramienta Navisworks. Fuente: Captura herramienta Navisworks.	100
Figura 66. Visualización tareas y propiedades en Navisworks. Fuente: Captura herramienta Navisworks.	101
Figura 67. Árbol de selección herramienta Navisworks. Fuente: Captura herramienta Navisworks.	101
Figura 68. Configuración visualización simulación Navisworks. Fuente: Captura herramienta Navisworks.	102



# I. RESUMEN

El *Building Information Modelling* –BIM– no es el futuro, es ya una realidad, que en poco tiempo se puede convertir en un filtro de entrada y permanencia de empresas en el mercado de la construcción. Es un concepto muy amplio y diverso, ya que no únicamente engloba el modelado de proyectos, sino que también implica una nueva metodología de trabajo y la aparición de nuevas herramientas y documentos de trabajo vinculados con todo el ciclo de vida del proyecto.

Paralelamente, cada día incrementa más el campo de actuación del *Project Manager*, abarcando tareas desde el *Asset Management*, profundizando e incrementando su implicación en el *Construction Management* y continuando su labor como *Facility Manager*. Pero la introducción y difusión del BIM implica también un cambio en la *praxis* habitual de los servicios ofrecidos por los *Project Managers* y, al igual que el resto de profesionales técnicos, es necesario una adaptación de su metodología de trabajo.

Los modelos BIM y la gran oferta de softwares que ofrecen gran cantidad de empresas tecnológicas ponen a disposición del *Project Manager* incontables herramientas para hacer de su labor un servicio más profesional y completo. La figura del *Project Manager*, como experto en metodología BIM, tiene un papel fundamental en la gestión integrada de proyectos llevados bajo esta misma metodología.

La implementación de sistemas BIM se extiende día a día, tanto en organizaciones empresariales como en administraciones públicas de todo el mundo. El BIM implica una revolución y ruptura del sistema tradicional, afectando tanto a proyectistas como empresas constructoras, siendo pues ahora el momento adecuado para acercarse al futuro inminente.

## II. RESUM

El *Building Information Modelling* –BIM– no és el futur, és ja a dia d'avui una realitat, que en poc temps pot esdevenir en un filtre d'entrada i permanència d'empreses en el mercat de la construcció. És un concepte molt ampli i divers, ja que no únicament recull el modelat de projectes, sinó que també implica una nova metodologia de treball i l'aparició de noves eines i documents de treball vinculats a tot el cicle de vida del projecte.

Paral·lelament, cada dia s'incrementa més l'abast d'actuació del *Project Manager*, incloent tasques des de l'*Asset Management*, aprofundint i engrossint la seva aplicació al *Construction Management* i continuant la seva tasca com a *Facility Manager*. Però la introducció i difusió del BIM implica també un canvi en la manera de fer habitual dels serveis oferts pels *Project Managers* i, de la mateixa manera que la resta de professionals tècnics, es necessària una adaptació de la seva metodologia de treball.

Els models BIM i la gran oferta de softwares de ofereixen gran quantitat d'empreses tecnològiques posen a l'abast del *Project Manager* in comptables eines per fer de la seva feina un servei més professional i complet. La figura del *Project Manager*, com a expert en metodologia BIM, té un paper fonamental en la gestió integrada de projectes portats a terme sota aquesta mateixa metodologia.

La implementació de sistemes BIM s'estén dia rere dia, tant en organitzacions empresarials com en administracions públiques de tot el món. El BIM implica una revolució i ruptura del sistema tradicional, afectant tant a projectistes com a empreses constructores, sent doncs ara el moment adequat per apropar-se al futur imminent.

### III. ABSTRACT

*Building Information Modelling –BIM-* is not the future; it is already a reality, which in short terms of period can become as a filter of entrance and continuity of companies in the construction market. It is a wide and diverse concept, due to it does not only include the modelling process of projects, if not it also requires a new work methodology and the appearance of new tools and work documents linked with the whole project's live cycle.

At the same time, every day increases more the *Project Manager's* field of intervention, including tasks from *Asset Management*, delving into and increasing their involvement in *Construction Management* and extending their labors as a *Facility Managers*. But BIM's introduction and dissemination requires also a change in the habitual praxis of the services offered by the *Project Managers* and, as the rest of technical professionals, it is necessary a work methodology adaptation.

BIM models and the high amount of software provided by lots of technological companies makes available to *Project Managers* uncountable tools to become their labor in a more professional and complete service. The *Project Manager's* figure, as an expert in BIM methodology, has an essential function in integrated project management developed in BIM's methodology.

BIM's system implementation spreads day to day, even in business companies and public administrations around the world, BIM involve a revolution and breakdown with the traditional system, concerning such as project designers and construction companies, so being now the right moment to approach to the imminent future.

# 1. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

El objetivo principal del estudio es acercarse a la metodología BIM y posteriormente proponer pautas para la implementación de metodología BIM en las tareas realizadas usualmente por el *Project Manager*.

Para ello, el estudio se ha estructurado en tres partes bien diferenciadas. En primer lugar, se analizará el concepto del *Building Information Modelling* -BIM-, tanto las principales características del mismo, se destacará las principales diferencias entre la metodología tradicional y la metodología BIM en las fases de diseño y construcción de proyectos, se explicará los principales usos y herramientas tecnológicas que ofrece el mercado.

En segundo lugar, se estudiará cómo afecta la introducción de la metodología BIM en un proyecto para la figura del *Project Manager*. El objetivo de esta parte es proponer un conjunto de procedimientos de los servicios ofrecidos por el Project Manager, así como también mostrar posibles documentos que puedan emplearse tanto en la fase de concepción del proyecto como en la misma construcción y gestión del activo.

Destacar que para la redacción de esta parte, se ha empleado gran parte del conocimiento y experiencia adquiridos durante la realización de prácticas de trabajo en las empresas STATIC Ingeniería, SA y ACTIO Project Management & Engineering, SL, así como la utilización de documentos internos de la empresa no citados como referencias durante el transcurso del estudio.

En tercer lugar, una vez hecha una aproximación hacia los nuevos sistemas BIM, se ha optado por la realización de un caso práctico para poner en práctica algunos de los beneficios que aportan las herramientas BIM y descubrir nuevas formas de trabajo que seguramente emplearán los *Project Managers* en proyectos desarrollados con BIM. Para el levantamiento de un modelo, se ha empleado un proyecto de una vivienda unifamiliar proyectada por el despacho de arquitectos Agustí-Balcells Arquitectos. El caso práctico se centrará en la parte estructural del proyecto, creando un modelo del mismo y posteriormente empleando diferentes herramientas BIM para establecer documentación gráfica, extracción de mediciones y la vinculación y simulación del modelo con el proceso constructivo.

Finalmente, se recogen conclusiones respecto a la implementación y uso de la metodología BIM en el sector de la construcción, así como también qué papel asumirá el sistema tradicional basado en las herramientas CAD en el futuro. Las conclusiones han sido complementadas con las opiniones de varios profesionales de la construcción que actualmente ya trabajan bajo metodología y herramientas BIM.

## 2. BUILDING INFORMATION MODELLING (BIM)

### 2.1 ¿Qué es el BIM?

BIM (*Building Information Modeling*) es una metodología de trabajo aplicada en el sector de la construcción basada en el uso de unos sistemas y softwares que permiten integrar toda la información útil de un proyecto en un mismo modelo, permitiendo analizar y gestionar de forma efectiva todo el ciclo de vida del proyecto, desde la concepción hasta el derribo o reconversión, caracterizándose por un trabajo colaborativo entre los diferentes agentes partícipes del proyecto y con el objetivo principal de controlar y reducir los costes.

Para un mejor entendimiento del término BIM es interesante pararse en analizar el significado y la relación de las siglas con la metodología estudiada:

- **Building:** nos informa del objeto en el cual se basa la metodología, extendiendo su uso no solo en obras de edificación, sino también de rehabilitación, obra civil y otros posibles proyectos. No únicamente considera el proceso de diseño, sino que engloba un proceso que se inicia con la misma concepción y diseño del proyecto, continua con su construcción y explotación y finaliza con la reconversión del mismo, es decir, participa en todo el ciclo de vida del activo. Aun habiéndose empleado básicamente en edificaciones, metodología más arraigada por aquellos que emplean BIM, no se descarta su uso en la concepción y seguimiento de construcción de infraestructuras, hecho que poco a poco se empieza a imponer bajo el nombre de *Bridge Information Modelling*.
- **Information:** por información se entiende toda la información útil que se genera durante todo el ciclo de vida de un edificio, como por ejemplo: planos, detalles constructivos, vistas 3D, fichas técnicas, cálculos estructurales, cálculos de instalaciones, cálculos energéticos, mediciones y presupuestos, planificación de obra, documentos de uso y mantenimiento, etc.
- **Modeling:** en este concepto reside gran parte de la utilidad de la metodología BIM, ya que se trabaja en un único modelo que puede ser utilizado por aquellos agentes intervinientes en el proyecto. Dicha característica se obtiene gracias a la posibilidad de poder exportar los modelos en formatos estándares compatibles con otras herramientas informáticas, destacando principalmente los archivos en formato IFC.

Uno de los atractivos más interesantes de los sistemas BIM es que permiten poder unificar o enlazar el modelado arquitectónico de un edificio con el resto de sistemas que completan el proyecto, tales como las instalaciones, estructuras, estudios topográficos, mediciones y presupuestos, planificaciones, estudios de eficiencia energética, etc.

Pero no es únicamente la posibilidad de englobar todos aquellos sistemas que requiere un proyecto en un único modelo, sino lo que lo hace productivo y eficiente es que permite la coordinación de los participantes, dando lugar al deseado trabajo colaborativo. De esta manera se consigue que los diferentes profesionales involucrados en un mismo proyecto puedan trabajar sobre el mismo a la vez, teniendo así toda la información coordinada y actualizada en tiempo real.

Atrás queda ya la representación de líneas y figuras geométricas que representan elementos arquitectónicos o constructivos, reflejados en planos bidimensionales. Los softwares de representación BIM permiten dibujar y crear elementos, con sus dimensiones y características específicas (físicas, técnicas, comerciales, de mantenimiento, etc.).

En una primera aproximación y antes de desarrollar más detalladamente qué conforma e implica la metodología BIM y, en consecuencia, sus softwares, resumimos unos cuantos de los principales objetivos que pretende cubrir el BIM (1):

- Como herramienta también de negocio, busca dar soporte a gran variedad de decisiones, estableciendo criterios de elección de alternativas a la hora de realizar inversiones, comparando la funcionalidad, el alcance y los costes de las soluciones, para posteriormente calcular rentabilidades.
- Proporcionar criterios medioambientales, permitiendo análisis comparativos de requisitos energéticos y medioambientales, para elegir soluciones de diseño más eficientes y marcar objetivos para el seguimiento posterior de la explotación de la obra ejecutada y sus servicios.
- Visualización del diseño, permitiendo entender rápidamente la idea del proyecto y sus dimensiones o, como también, una herramienta de *márketing* de los activos.
- Estudios de viabilidad de la construcción, obteniendo de manera rápida los costes estimados que incurren el proyecto y los plazos de construcción previstos.
- Establecer estándares de la calidad de la información y del intercambio de datos para hacer el proceso de diseño y construcción más efectivo y eficiente.
- Uso de los datos del proyecto del edificio durante las obras de ejecución, así como también en las posteriores fases de explotación y mantenimiento.

## 2.2 El camino hasta el BIM

Durante la mayor parte de la historia de la construcción, el diseño de los proyectos se realizaba con un simple lápiz y papel. Dicho procedimiento no dejaba de ser exacto y fiable, pero representaba gran cantidad de horas invertidas y contaba con la desventaja que cualquier modificación podía

suponer el grafiado de nuevo de los documentos. Pero no fue hasta el año 1955, cuando fue desarrollado el primer sistema gráfico que recogía datos introducidos y los representaba en la pantalla de un ordenador, en el *Lincoln Laboratory* del MIT (*Massachusetts Institute of Technology*), la cuna de los grandes avances tecnológicos (2).

Años después y en el mismo lugar *Ivan Sutherland*, que era programador informático y pionero de internet, desarrolló el sistema *Sketchpad*, como resultado de sus trabajos realizados durante el doctorado: "*Sketchpad: A Man-machine Graphical Communications System*" (2). El *Sketchpad* era un programa único desarrollado para la computadora TX-2, una computadora única en sí misma. Podía crear dibujos altamente exactos y se introdujeron innovaciones importantes tales como estructuras de memoria para almacenar objetos y la capacidad de enfocar adentro y hacia fuera.

Más adelante, se fueron desarrollando otros softwares basados en las bases del *Sketchpad*, destacando los realizados por ITEK, empresa americana especializada en sus inicios en el diseño de satélites espías; y por *General Motors* (2). Diez años más tarde, en 1965, se comercializa el primer sistema CAD (*Computer-Aided Design*) a un precio desorbitado, que rondaba los 500.000 dólares americanos. Cuatro años después, y tras el desarrollo del primer *plotter*, las empresas del mundo aeroespacial y del automóvil comienzan a utilizar sistemas CAD.

Pero la expansión del sistema CAD en 2D no tuvo entrada en el mercado hasta que *Autodesk* consiguiera desarrollar un programa CAD para PC a un coste inferior de 1.000 dólares americanos. A pesar de la mayor accesibilidad del sistema por parte de profesionales, su expansión continuó dirigiéndose en el mundo de la ingeniería aeroespacial y automovilística.

Por otro lado, Keith A. Bentley y su hermano Barry J. Bentley fundaron *Bentley Systems* en 1984 (2). Un año más tarde trajeron al mercado una versión productiva de un programa llamado *PseudoStation*, que permitía a los usuarios del IGDS (*Interactive Graphics Design System*) de *Intergraph* utilizar los Terminales Gráficos de bajo coste para hacer sus proyectos. Antes de eso, el acceso a estos sistemas solo era posible por medio de ordenadores especiales de alto rendimiento y, en consecuencia, de presupuestos elevados (Sistemas VAX). El éxito del *PseudoStation* convenció a los hermanos que había un mercado de sistemas CAD para ordenadores personales. Una vez comprobado y demostrado que los ordenadores de la época presentaban ya rendimientos suficientes para este tipo de tareas, en 1986, lanzaron la versión 1 del *MicroStation*, que permitía abrir, visualizar e imprimir archivos de proyectos de sistemas VAX directamente en el PC.

Con los programas CAD todos los planos se comenzaron a realizar utilizando esta plataforma, ahorrando tiempo y ganando en eficacia y calidad de los sistemas de representación, ayudando a su vez a la construcción mediante una mejor representación.

A este avance se le unió la representación en 3D impulsada por los arquitectos y su afán de mejorar la calidad del detalle y de presentación, tan importante para la atracción de clientes. Después de este impulso o mejora utilizando modelos 3D, llegó el desafío de representar el estado final del diseño de forma dinámica, naciendo lo que se conoce actualmente como tecnología BIM (*Building Information Modelling*).

El origen del BIM no tiene un punto de partida único, sino que resultó de la unión de varios caminos. Algunos defienden que fue la empresa *Graphisoft* quien desarrolló un programa en 1982 para dibujar utilizando 2D y 3D (2). Por otro lado, *Autodesk* comenzó a utilizar el concepto BIM tras la compra en 2002 de la empresa *Revit Technology Corporation*, mientras que otros defienden que fue el profesor Charles M. Eastman, del *Georgia Tech Institute of Technology*, el primero en difundir este concepto. Sin embargo, sí que hay un consenso generalizado acerca de que Jerry Laiserin fue quien lo popularizó como un término común para la representación digital de procesos de construcción.

Actualmente, en los menos de 20 años en los cuales se ha desarrollado poco a poco esta metodología hasta el día de hoy, en la cual deja ya de ser parte del futuro y se arraiga en el presente, esta metodología es ofrecida por diferentes proveedores tecnológicos en la actualidad. Principalmente, las empresas más conocidas son las siguientes: *Nemetschek*, *Autodesk*, *Bentley Systems* y *Trimble*.

### **2.3 ¿Qué cambios supone el BIM respecto al sistema CAD?**

La metodología tradicional de diseño de proyectos con herramientas CAD sigue un flujo de trabajo básicamente lineal. Pero no es exactamente así, ya que durante la misma redacción del proyecto actúan gran cantidad de variables, tanto endógenas como exógenas, que pueden modificar el diseño y, en consecuencia, requieren de la actualización de su documentación ya iniciada.

El orden natural del proceso se inicia con la recopilación de información por parte del equipo redactor. Es quien lleva a cabo reuniones con el cliente o, en el caso que delegue su representación, con el Project Manager, otros agentes técnicos implicados en la redacción del proyecto y agentes externos, tales como administraciones y suministradores de servicios. Una vez recabada la información necesaria, se inicia con la redacción del Anteproyecto, documento que explica la concepción y características esenciales del proyecto. Se representará la o las propuestas en planos, principalmente alzados y vistas en planta, dando un volumen al elemento concebido. Es una etapa de la fase de diseño en la que actúa principalmente el proyectista y que tiene como finalidad escoger una de las posibles alternativas contempladas.

Una vez escogida la alternativa deseada, se inicia la fase de definición aproximada de la misma, sin llegar aun nivel de detalle definitivo. Durante la elaboración del Proyecto Básico, el proyectista avanza la redacción de proyecto hasta el punto de necesitar la colaboración con otros agentes: calculistas de estructuras, requerimientos más específicos de la propiedad, definición de instalaciones, ubicación acometidas de servicios públicos, normativa aplicable al proyecto... Es en este punto donde el caos acecha el diseño del proyecto. Los agentes externos al equipo proyectista reciben la documentación elaborada hasta la fecha por los proyectistas, para que incorporándola a sus modelos y herramientas de trabajo lleven a cabo sus estudios y propuesta de diseño.

Sucede lo mismo cuando el proyecto se presenta ya a tramitación para la obtención de licencia, cuando realmente continúa la definición final del mismo. En esta fase del proyecto circula gran cantidad de información y documentación que no es considerada por todos los agentes al mismo



tiempo. Por ejemplo, puede suceder perfectamente que, durante el diseño de los edificios de una terminal portuaria, donde se prevé instalar una maquinaria específica, los proyectistas envíen al equipo calculista la documentación necesaria para el dimensionamiento de la estructura de hormigón armado prevista. Tiempo después, para no detener el proyecto, se hace llegar la documentación necesaria para el estudio y previsión de instalaciones. Los tres equipos trabajan en cierta manera de forma paralela, realizando cuando fuese oportuno reuniones de coordinación del diseño con el equipo redactor. Pero siempre surgen imprevistos y modificaciones que implican cambios en el proyecto. Podría darse el caso, que una vez informado el equipo proyectista de qué máquinas son las previstas de incorporar en el edificio final y qué requerimientos tienen, vean necesario dejar un hueco en los forjados más grande al previsto. Se comunicará tan pronto como sea posible del cambio al equipo calculista, hecho que supondrá modificar toda aquella documentación ya realizada. Sin embargo, es posible que la ingeniería encargada del dimensionamiento de las instalaciones, desconozca dicho cambio hasta pasado un tiempo, y prevea un conducto de ventilación por ese hueco. Resultará que el día de la reunión de coordinación, cuando ambas partes expliquen el trabajo realizado hasta la fecha, se darán cuenta que los planos en los que han trabajado no corresponden a la misma versión.

Dándose la situación explicada anteriormente, el flujo lineal de trabajo viene interrumpido por bloques iterativos, donde parte del trabajo que ya se había realizado por una de las partes es necesaria que sea modificada.

En el caso del seguimiento de la construcción, dependiendo de las condiciones del contrato con la empresa contratista o, directamente, en función de la tipología de proyecto, es muy común que el contratista cuente con un equipo de asistencia técnica (oficina técnica). Es habitual y común que durante la ejecución de un proyecto se hagan pequeños cambios en la definición prevista, ya porqué supongan una mejora al proyecto o por requerimientos varios, tanto constructivos, provenientes de la propiedad o dirección facultativa. El responsable de actualizar la documentación y transmitirla de nuevo al equipo contratista es el equipo proyectista que asuma la dirección de obra. Es entonces cuando puede darse casos parecidos al explicado anteriormente, en los que a partir de una modificación los agentes partícipes ahora de la construcción del proyecto cuenten con versiones distintas de la información y documentación.

Cada modificación supone un enorme trabajo por parte de la mayoría de partes. Por un lado, se deberá actualizar la documentación gráfica, así como también el presupuesto y otros documentos que pudiesen tener implicación con la misma. Por otro lado, las empresas contratistas deberán detectar qué documentación deja de ser válida y qué se espera a recibir. Puede suceder que sea la misma oficina técnica quien desarrolle parte de las modificaciones del proyecto, pudiéndose llegar a posibles contradicciones con la propuesta también desarrollado por la dirección de obra. Finalmente, se acaban dedicando grandes esfuerzos y se exige llevar a cabo un seguimiento muy controlado de la documentación y de las decisiones tomadas durante la fase de ejecución.

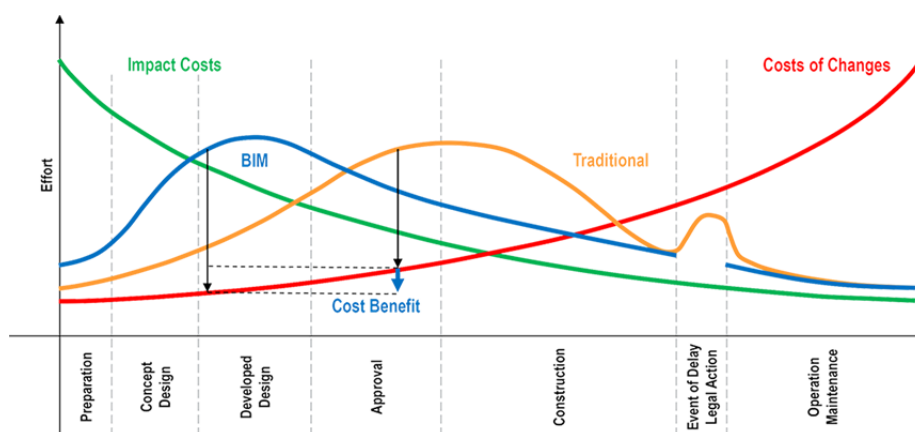


Figura 1. Nivel de esfuerzo requerido por cada una de las metodologías de trabajo en las distintas fases de proyecto.

Fuente: <http://wordpress.archigraphic.de/en/2015/04/20/bim-vs-hoai/>

Tal y como se muestra en la Figura 1, la metodología tradicional requiere gran cantidad de recursos y esfuerzo por parte de las partes encargadas de la realización de proyecto durante la definición del proyecto básico y ejecutivo. También puede observarse que generalmente se crea un pico de trabajo cuando hay que recopilar toda la documentación final, para por ejemplo la elaboración del *As Built* (3).

En la Tabla 1 se muestran las principales diferencias entre las metodologías de trabajo llevadas a cabo con herramientas CAD y BIM (4):

Concepto	CAD	BIM
<i>Dibujo</i>	Entidades geométricas: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Líneas</li> <li>▪ Círculos</li> <li>▪ Polígonos</li> <li>▪ Sólidos</li> <li>▪ Superficies</li> <li>▪ Otros</li> </ul>	Elementos constructivos con propiedades: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Muros</li> <li>▪ Puertas/ventanas</li> <li>▪ Pilares</li> <li>▪ Cubiertas</li> <li>▪ Terrenos</li> <li>▪ Otros</li> </ul>
<i>Relación plantas – secciones – alzados – modelo 3D</i>	Son entidades independientes a las que hay que aplicar cambios por separado: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ En el mismo archivo</li> <li>▪ Distintos archivos (con o sin referencias)</li> </ul>	Existe un único modelo del que se extraen representaciones. Cualquier cambio en el modelo cambia las representaciones.
<i>Datos asociados</i>	Bloques con atributos (poco utilizados, tienen limitaciones)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Propiedades de los elementos (precios unitarios, materiales, gravedad...)</li> <li>▪ Calculados (superficies, volúmenes...)</li> <li>▪ Propiedades de los planos</li> </ul>
<i>Informes</i>	Calcular datos y exportarlos a otros softwares	Generados automáticamente y vinculados (pueden cambiarse datos en informe o en modelo)
<i>Trabajo en grupo</i>	No hay Soluciones improvisadas: un archivo, una persona y relacionar archivos con Xref	Métodos cambian según la aplicación: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Posibilidad de trabajar en zonas/capas concretas</li> <li>▪ Permisos/usuarios</li> </ul>

Tabla 1. Principales diferencias entre metodología CAD y BIM. Fuente: <https://prezi.com/qqt27qgvtscc/introduccion-al-bim/>

La gran oferta de herramientas que permiten llevar a cabo una nueva *praxis* en el proceso de proyección y ejecución de proyectos, ha dado lugar a una nueva manera de enfocar los proyectos, así como también, tal y como se ha avanzado anteriormente, a los flujos de trabajo (5).

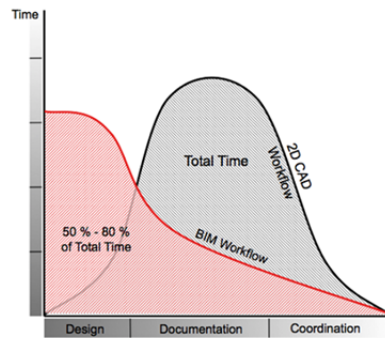


Figura 2. Nivel de recursos requeridos en cada una de las fases de proyecto según la metodología empleada. Fuente: <http://www.arquiparados.com/t583-cad-vs-bim-quien-ganara-esta-guerra>

Tal y como muestra la Figura 2, los proyectos BIM tienen como inconveniente principal la gran cantidad de tiempo necesario para desarrollar el diseño mismo. Sin embargo, a partir de la experiencia se ha visto que el tiempo dedicado al diseño y gestión de la construcción disminuye a medida que avanza el proyecto. Los proyectos trabajados en CAD requieren en línea general pocos recursos durante la elaboración del básico, pero el tiempo dedicado para la elaboración de la documentación final del proyecto ejecutivo se incrementa considerablemente (5).

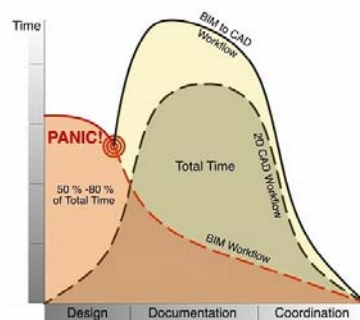


Figura 3. Incremento de recursos requeridos en el cambio de metodología BIM a CAD en la fase de diseño. Fuente: <http://www.arquiparados.com/t583-cad-vs-bim-quien-ganara-esta-guerra>

Pero no todo son mejoras y ventajas para la metodología BIM, ya que esta aún está en fase de implementación tanto en una visión general del sector como en los equipos de trabajo de los despachos y empresas del mundo de la construcción. Debido a la falta de experiencia y carencia de una metodología de trabajo arraigada en los agentes que emplean BIM, se ha visto en diversas ocasiones que una vez iniciado un proyecto bajo metodología BIM, los agentes implicados observan como su dedicación al proyecto es mucho mayor a lo realizado hasta ahora mediante el sistema tradicional. Y es en ese mismo instante de tiempo cuando los encargados de proyectar se plantean la posibilidad de retroceder y girar hacia el uso de herramientas CAD. Según lo aprendido, dicha decisión implicaría una dedicación incluso mayor que si se hubiese empleado sistemas CADs desde el inicio.

Expertos en herramientas CAD argumentan que resulta más fácil y existe experiencia suficiente para determinar con cierta exactitud la dedicación y empleo de recursos necesarios para la redacción de un proyecto. La falta de experiencia en BIM hace que las estimaciones de recursos, principalmente tiempo, difieran de la realidad.

Habiendo visto las principales ventajas que ofrece el BIM, es lógico que el usuario piense que el BIM tiene la batalla ganada al CAD. Sin embargo, resulta interesante observar la evolución del volumen de búsquedas del término CAD y BIM, mediante la herramienta *Google Trends*. La figura 4 muestra la tendencia del número de búsquedas de ambos términos des del 2005 hasta pasado el año 2015. Tal y como se puede observar, el CAD (curva roja) sigue siendo la herramienta del presente, centro de interés y uso de gran cantidad de usuarios, mostrando eso sí un descenso contenido de su popularidad. En azul, la búsqueda del término BIM ha ido creciendo poco a poco, mostrando una evolución más constante y sostenida que el CAD (5).

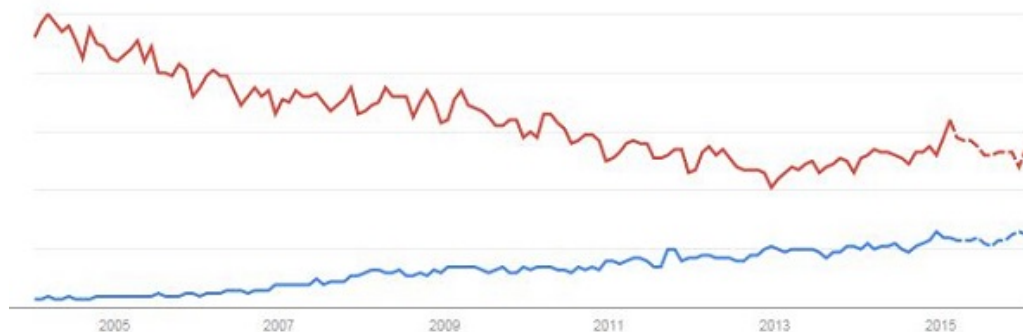


Figura 4. Evolución del número de búsquedas de los términos CAD (rojo) y BIM (azul) en Google. Fuente: <http://www.arquiparados.com/t583-cad-vs-bim-quien-ganara-esta-guerra>

Los datos ofrecidos en el artículo “CAD vs BIM ¿Quién ganará esta guerra?” (5) muestran como el CAD, especialmente la herramienta AutoCAD de *Autodesk*, lideran el uso de softwares de diseño para la construcción. Sin embargo, los expertos aseguran que el sistema BIM acabará imponiéndose más tarde o temprano, ya que una vez establecido en las principales empresas y afianzados las ventajas que ofrecen tanto a propietarios, proyectistas o constructores; los sistemas CADs quedarán obsoletos.

## 2.4 El BIM en el mundo

La incorporación de esta nueva metodología, de esta nueva forma de hacer, implica también una adecuación de su entorno y una adaptación progresiva de su contexto, tanto profesional como legal. Para su extensión en los despachos y equipos de trabajo vinculados en el mundo de la construcción, es importantísimo que las autoridades marquen unas pautas de control, a la vez que promuevan su utilización.

A continuación, se explica resumidamente como España y el resto de principales potencias europeas y mundiales en qué situación se encuentran respecto a la implantación de BIM y cómo esperan proceder en los próximos años.

En España, la utilización de herramientas BIM se empezó a emplear en diversos despachos de arquitectura e ingeniería, donde eran los mismos clientes quienes pedían que el proyecto se realizase bajo metodología BIM o incluso eran los mismos despachos quienes decidieron trabajar con herramientas BIM para ganar eficiencia y obtener una ventaja comparativa respecto al resto de equipos (6).

No fue hasta el 2014 cuando la delegación española de *BuildingSMART* presentó la primera guía de protocolos BIM en español abierta a cualquier profesional. *BuildingSMART* es una asociación sin ánimo de lucro cuyo principal objetivo es fomentar la eficacia en el sector de la construcción a través del uso de estándares abiertos de interoperabilidad sobre BIM para alcanzar nuevos niveles en reducción de costes y tiempos de ejecución y aumento de la calidad (6).

Posteriormente, en julio de 2015 el Estado, a través del Ministerio de Fomento, empezó a involucrarse en la implementación del BIM, mediante la constitución de una Comisión para la implementación de la metodología BIM en España. Dicho organismo pretende establecer las bases y la hoja de ruta para el uso obligatorio de BIM en las licitaciones públicas, comprendiendo tanto proyectos de edificación como de infraestructuras, para el año 2018 y 2019 respectivamente Figura 5 (7).

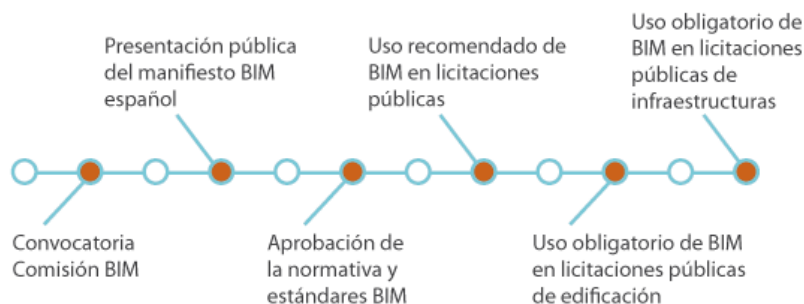


Figura 5. Plan de trabajo de la Comisión BIM en España (es.BIM). Fuente: <http://www.esbim.es/es-bim/organizacion/>



Figura 6. Logo de la Comisión BIM en España (es.BIM). Fuente: <http://www.esbim.es/>

La Comisión BIM está formada por un Comité técnico y por cinco grupos de trabajo, estructurados de la siguiente forma (8):

- GT1 Estrategia, encargado de la planificación y estrategia de la Implantación BIM en España, así como de la innovación y desarrollos futuros.
- GT2 Personas, responsable de todo lo relativo al cambio de la cultura del método de trabajo y de la capacitación del personal tanto público como privado. Debe tener en consideración la aparición de nuevos roles y responsabilidades, la necesidad de una mayor comunicación y transparencia, como también luchar contra la resistencia al cambio.

- GT3 Procesos, que es el grupo encargado de la valoración y propuesta de modificaciones, tanto de ámbito normativo, legislativo, en los pliegos, respaldando la estandarización de procesos y la creación de un entorno para la entrega de proyectos BIM.
- GT4 Tecnología, estudiará la base tecnológica necesaria para la implantación, garantizando la interoperabilidad, el empleo del *Open BIM* y su libre acceso.
- GT5 Internacional, reservado para realizar un seguimiento de la implantación de la metodología BIM en otros países, así como también la convergencia con estas iniciativas.

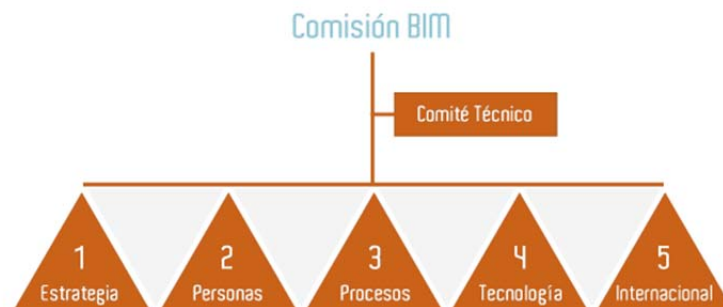


Figura 7. Estructura organizativa de la Comisión BIM en España (es.BIM). Fuente: <http://www.esbim.es/es-bim/organizacion/>

El Comité Técnico corresponde al órgano encargado de coordinar entre sí las distintas labores llevadas a cabo por los Grupos de Trabajo, así como también la de gestionar su relación con la Comisión. De esta manera se garantiza la transversalidad entre los diferentes Grupos y se llevará a cabo un seguimiento de la actividad de los Grupos que es posteriormente reportado a la Comisión.

Como funciones destacadas del Comité Técnico está el asesoramiento que ofrece a la Comisión, propuesta de nuevas líneas de actividad de los grupos de trabajo y el traslado de actividades aprobadas por la Comisión a las Grupos de Trabajo (9).

Desde la creación de la Comisión BIM, se han elaborado gran cantidad de documentos y celebrado diversos actos. Entre ellos destacan las cuatro reuniones de la Comisión BIM, las cuáles pueden encontrarse en la misma página web de la Comisión BIM (<http://www.esbim.es>) en el apartado de *Descargas* las actas de las mismas. También, encontramos documentos referentes a las Jornadas es.BIM y otros documentos de autores expertos en sistemas BIM (10).

Más particularmente, en Cataluña se publicó en el 2015 aprovechando la *European BIM Summit* el Manifiesto BIMCAT (11), por el cual la Generalitat de Catalunya y el Ajuntament de Barcelona pretenden llevar a cabo en un futuro próximo la licitación de cualquier proyecto público con presupuesto superior a los 2 millones de euros de equipamientos o infraestructuras bajo metodología BIM (6). Como complemento y para ir preparando el terreno, se ha fijado también el año 2017 como fecha para empezar a publicar las primeras guías, estándares IFC (*Industry foundation Classes*), clasificaciones y procesos de entrega del modelo digital. Yendo más lejos, se pretende que en el año 2020 cualquier licitación para equipamientos o infraestructuras públicas se

realicen bajo BIM en cualquiera de sus fases, ya sea diseño, construcción y explotación (mantenimiento y *Facility Management*).

Actualmente, el Departamento de Territorio y Sostenibilidad lidera una Comisión que agrupa varios departamentos, tales como el Departamento de Economía y Hacienda, de Salud y Gobernación, como también por colegios profesionales, empresas públicas y empresas constructoras que trabajan con tal de facilitar la implementación BIM en Cataluña (12). El objetivo de la misma Comisión es trabajar sobre los procedimientos, la organización, los pliegos de prescripciones técnicas i la tecnología que supones esta nueva herramienta.

En el marco europeo, son varios los países que ya se encuentran en fases más avanzadas de implementación y que por su pionera adopción de uso, van marcando el camino a seguir.

En el caso de Alemania, su gobierno decidió llevar a cabo en 2010 un estudio sobre la situación del BIM en el país y cuáles eran los principales beneficios qué aportaba al sector de la construcción y qué barreras podían frenar su expansión e implementación. Más adelante, el gobierno ha decidido que a partir del año 2017 los proyectos superiores a 100 millones de euros se realizaran bajo sistemas BIM (6).

Uno de los países que ha apostado más por la implementación del BIM es Finlandia. Fueron de los primeros países en apostar por esta metodología, que lleva requiriéndose su uso desde el año 2007. Como dato puntual y enriquecedor para el mundo BIM, *The Senate Properties* con colaboración de empresas constructoras y otras desarrolladoras de softwares, redactaron en 2012 las *Commom BIM Requirement*, conocidas también como COBIM, que más adelante han servido como punto de partida para muchas otras guías, por ejemplo, la UBIM españolas (6).

No únicamente se fomenta el uso de metodología BIM para el diseño y construcción de proyectos, sino también, como es el caso de Italia, el gobierno tiene como objetivo fomentar el desarrollo y la innovación del sector de la construcción mediante la creación de una base de datos italiana que contenga toda la información útil relacionada con el ciclo de vida entero de los edificios. Con esta base de datos se pretende obtener una mayor eficacia tanto en los procesos constructivos así como también en la gestión y mantenimiento de los edificios, siendo la información enlazada, actualizada y extensible a otros softwares independientes a través de modelos BIM mediante el tipo de archivo IFC.

Otro de los países que vio que el BIM podía mejorar el funcionamiento de la construcción y, por ello, apostaron también por una rápida implementación es Reino Unido. El gobierno inglés creyó desde un principio que el empleo de herramientas BIM en los proyectos de obra pública podía ayudar a controlar los costes de construcción y así llevar a cabo un gasto más eficiente. No fue hasta el 2011 cuando se decidió que en este presente año 2016 se desarrollasen los proyectos bajo una metodología colaborativa de BIM, alcanzando un nivel 2, concepto que veremos detalladamente más adelante. Reino Unido ha aportado diferentes guías a través de la AEC (*Architectural Engineering & Construction, UK*), iniciativa que fue creada en el año 2000 para

mejorar los procesos de diseño, información, producción, dirección e intercambio de información en el ámbito de la construcción (6).

Por otro lado, una de las mayores potencias mundiales, Estados Unidos, no quiso tampoco perder la oportunidad de convertirse en un referente de tecnología BIM. La primera intención de introducir el uso del BIM, vino a través de la iniciativa de la *General Service Administration (GSA)*, empresa americana que proporciona lugares de trabajo a través de la construcción, gestión y preservación de edificios del gobierno y a través del arrendamiento y gestión de propiedades inmobiliarias, que conjuntamente con *The Public Building Service Office of Chief Architect*, promovieron el uso del BIM 3D y 4D. Desde el 2017 GSA pide como requerimiento mínimo que los proyectos se desarrollen con BIM. La misma organización desarrolló las guías *BIM Guide Overview*, que fueron y siguen siendo un buen referente para la implementación y uso del BIM. Paralelamente, *The US Army Corps of Engineers* publicó en el 2006 el camino de ruta hacia el BIM, desarrollando los flujos de trabajo según el software Bentley (6).

A día de hoy, China no obliga la utilización de herramientas BIM a sus empresas redactoras de proyectos y constructoras. Sin embargo, el gobierno contempla el BIM como una oportunidad para reducir los costes ambientales y mejorar la eficiencia energética en la industria, especialmente en el sector de la construcción. Poco a poco el gobierno chino ha ido publicando sus primeras guías, que reciben el nombre de *National BIM Guidelines Series*, al mismo tiempo que se van concediendo subvenciones a empresas de todo el país para que empiecen a adoptar los sistemas BIM en su metodología de trabajo (6).

## 2.5 Estrategias de Implantación BIM

La implantación de una nueva forma de concebir y ejecutar proyectos constructivos tal y como es el BIM, altera y modifica al sector. Es por ello que es de real importancia establecer y valorar cómo se va implantar esta nueva metodología en cada una de las pequeñas y grandes empresas del sector, como también las implicaciones que tiene sobre la docencia en universidades.

Usualmente, cuando se habla de la difusión BIM tanto en una organización (nivel micro) o como dentro de todo un mercado (nivel macro), se emplean dos términos que definen estrategias de implantación BIM.

Por un lado, encontramos las estrategias de implantación y difusión Descendente (en inglés *Up-Bottom*). Estas vienen definidas a partir de una presión ejercida por la autoridad con el fin de crear una presión que ordena la adopción de una solución que es percibida como favorable. Pueden desarrollarse políticas que ayuden y fomenten el uso de ciertas tecnologías, como subvenciones en la compra de softwares o la aprobación de normativas que obliguen el uso de ciertos sistemas. En una escala más pequeña, como sería el ejemplo de un despacho de ingeniería, la implantación descendente o *Up-Bottom* se llevaría a cabo cuando por el ejemplo el equipo directivo y responsable ordena la adopción de soluciones específicas, que en ciertas ocasiones pueden resultar



coercitivas. De esta manera, las soluciones se van difundiendo a través de la cadena de mando y se van adoptando según vayan acompañadas de incentivos y planes de formación (13).

En contraposición, encontramos la difusión Ascendente o en inglés *Bottom-Up*. Éstas, por el contrario, hacen referencia a la adopción de tecnologías, procesos y políticas desde la raíz, sin existir un mando o poder coercitivo. Suelen tener lugar en aquellas situaciones donde son las pequeñas organizaciones o aquellas que se encuentran en el último tramo de la cadena de mando o suministro las que adoptan unas herramientas o soluciones innovadoras. Cuando éstas se convierten en una práctica común, es decir, en una metodología de trabajo, tienden a difundirse hacia lo alto de la cadena de mando (13).

Las estrategias de implantación enunciadas anteriormente son las principales y más conocidas, sin embargo, también podemos hablar de la implantación Radial (en inglés *Middle-Out*). La difusión radial se aplica en todas aquellas organizaciones o individuos situados en la zona intermedia de sus ámbitos. A nivel macro de mercado, se puede describir dicha difusión cuando son las empresas de tamaño medio respecto a la dimensión del mercado, las que influyen en la adopción de una solución a las organizaciones más pequeñas de la parte bajo de la cadena de suministro del sector. Pero al mismo tiempo, influyen o tratan de impulsar de forma activa a que las organizaciones de mayor tamaño y con más influencia en el mercado, así como grandes empresas, asociaciones o autoridades de la parte alta de la cadena de mando adopten y estandaricen las nuevas estrategias empleadas por el mercado (13).

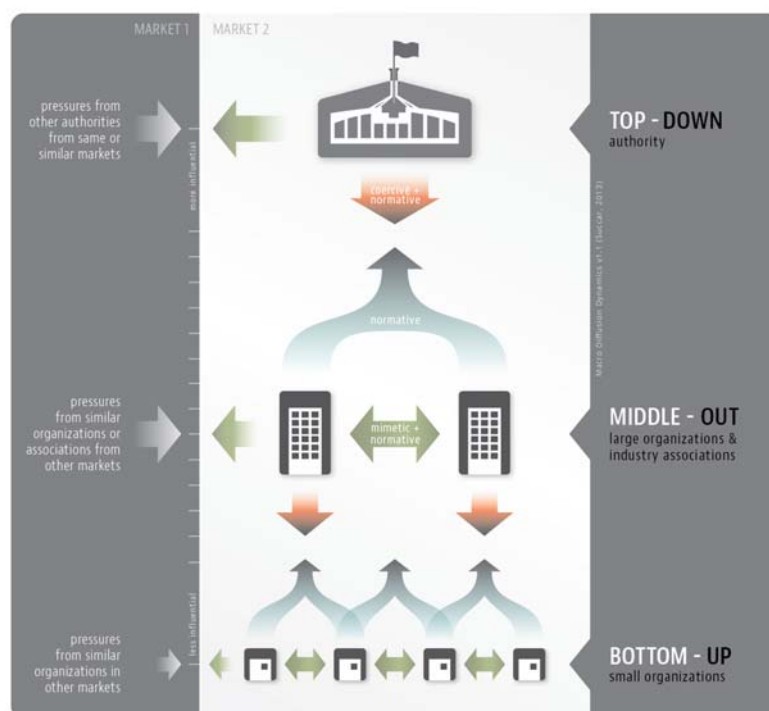


Figura 8. Representación de las estrategias de implantación de una metodología en diversos mercados. Fuente: <http://www.bimthinkspace.com/2014/07/episode-19-top-down-bottom-up-and-middle-out-bim-diffusion.html>

En la Figura 8 se pueden observar los flujos de influencias de cada uno de los agentes según la estrategia de implantación establecida. También, en la Tabla 2 se muestran los distintos agentes

transmisores de la estrategia, el mecanismo de presión, los receptores y el tipo de presión (coercitiva, normativa y mimética).








<i>Diffusion</i> <b>DYNAMIC</b>	<b>ACTOR</b> <i>Transmitter</i>	<i>Pressure</i> <b>MECHANISM</b>	<b>RECIPIENT</b> <i>Adopter</i>	<i>Pressure</i> <b>TYPE</b>
<b>Top-Down</b>	Government or regulatory body	Downwards 	All stakeholders falling within the circle of influence of the authority exerting pressure	Coercive; normative
		Horizontal 	Governments and authorities in other markets	mimetic
<b>Middle-Out</b>	Large organization or industry association	Downwards 	Smaller organizations further down the supply chain; members of industry associations	Coercive; normative; mimetic
		Upwards 	Governments and regulatory bodies within the market	Normative
		Horizontal 	Other large organizations and industry bodies within or outside the market	Mimetic; normative
<b>Bottom-Up</b>	Small organization	Upwards 	Larger organizations and industry bodies	Normative
		Horizontal 	Other small organizations	Mimetic; Normative

Tabla 2. Tipología de estrategias de implantación. Fuente:  
[https://www.youtube.com/watch?time\\_continue=277&v=bH1CzoyCNqA](https://www.youtube.com/watch?time_continue=277&v=bH1CzoyCNqA)

Los distintos mercados y organizaciones suelen marcar una de las estrategias más que el resto debido principalmente a variables sociales, tales como las presiones isomorfas (presiones coercitivas, normativas y miméticas) estudiadas por DiMaggio y Powell (14) u otras variables impulsadas por el mercado (oferta, demanda, riesgos y presiones competitivas entre otras). Sin embargo, las estrategias de difusión descendente, ascendente y radial (en inglés, *Bottom-Up*, *Up-Bottom* y *Middle-Out* respectivamente) son perfectamente complementarias entre ellas, e incluso, mutuamente inclusivas. No puede tacharse de una estrategia de implantación mejor que otra, sino que debe atenderse al contexto donde va a ser implantada. A día de hoy, se defiende que la implantación Descendente fomenta tasas de adopción en una organización o un mercado más rápido, sin haber pruebas concluyentes de la suposición.

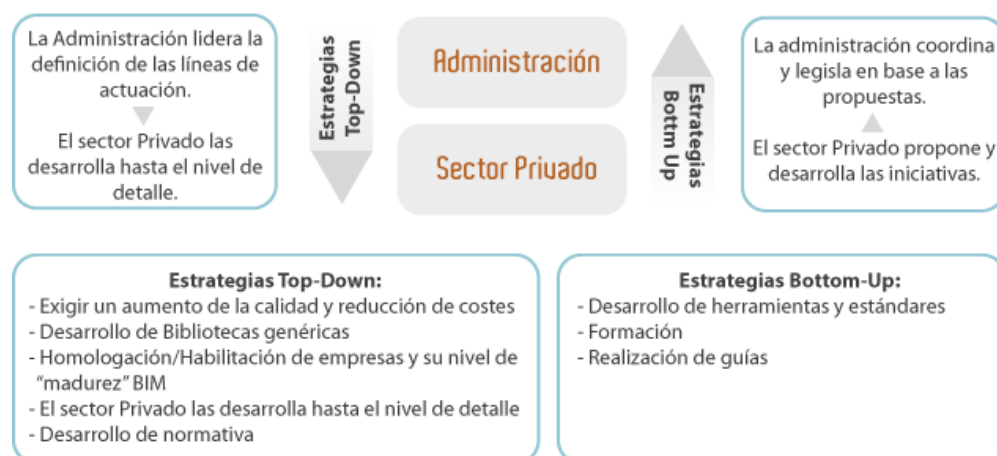


Figura 9. Estrategias de implantación de metodología BIM en España prevista por es.BIM. Fuente:  
<http://www.esbim.es/faqs/>

En el caso de la implantación de metodología BIM en España, la Comisión encargada de ello ve conveniente la colaboración entre los diversos actores de todos los sectores implicados, liderado el proceso a través del Ministerio de Fomento. Se busca pues una colaboración entre entidades públicas y privadas en la implantación de la metodología BIM, que recoja las necesidades de todos los agentes implicados. Mediante la adopción al mismo tiempo de estrategias descendentes o *Up-Bottom* y Ascendentes o *Bottom-Up*, se consigue que la Administración lidere la definición de las líneas de actuación a la vez que el sector privado propone el desarrollo de nuevas iniciativas (15). El trabajo se reparte de manera que es la Administración quien lidera la definición de las líneas de actuación a la vez que es el sector privado quien desarrolla la solución hasta un nivel de detalle suficiente. Del mismo modo, aquellas propuestas o iniciativas iniciadas por las empresas privadas serán coordinadas e incluidas en los planes y legislación de las Autoridades.

## 2.6 Metodología y herramientas BIM

### 2.6.1 Niveles del BIM

Uno de los primeros conceptos que es necesario definir para entender la implementación progresiva de la metodología BIM, son los denominados Niveles del BIM. Fue un concepto aceptado por el Reino Unido, el cual pretende definir los diferentes estados evolutivos que existen y que tienen que producirse para trabajar finalmente de forma integral y colaborativa con los sistemas BIM (16). El mundo de la construcción se tiene entendido que cualquier cambio brusco puede perjudicar el funcionamiento y resultados, aun siendo percibidos para obtener una mejora. Es por eso que es necesario un cambio gradual, en el cual se vaya asimilando poco a poco nuevas formas de trabajar, así como también familiarizarse de las nuevas tecnologías ofrecidas, tanto softwares como hardwares. Por ello se establecieron una serie de hitos de implementación fácilmente identificables, que forman los niveles de desarrollo del BIM.

Existen únicamente cuatro niveles distintos (del cero al tres), cuyo salto de uno a otro, es a veces materia de debate. Sin embargo, podríamos definir los niveles del siguiente modo:

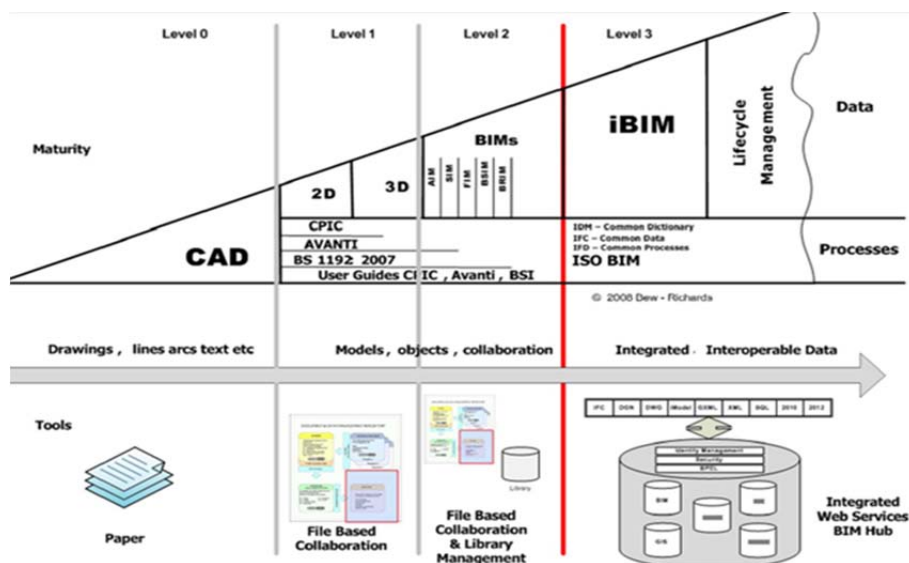


Figura 10. Representación de niveles BIM. Fuente: <https://redshift.autodesk.com/4-tips-to-getting-your-bim-pilot-project-off-the-ground/>

#### ❖ Nivel 0

El Nivel 0 define el estado de trabajo en el cual no existe ningún tipo de colaboración, es decir, en el cual cada uno de los agentes que participan de un proyecto elabora su propia documentación y el traspaso de información es reducido y limitado. Corresponde a la metodología de trabajo tradicional, la empleada durante aproximadamente 15-20 años. La forma de dibujar y representar es totalmente en dos dimensiones y el método de comunicación y presentación se basa en el papel o la impresión de planos. La tecnología está basada en los softwares CAD.

#### ❖ Nivel 1

En el Nivel 1 ya encontramos una mezcla del trabajo 2D y 3D con los softwares CAD. La finalidad del dibujo en tres dimensiones es poder mostrar de una forma más visible y, en consecuencia, entendible los proyectos, para obtener una conceptualización clara de qué se está dibujando y qué impacto tiene. Por otro lado, la documentación en 2D, básicamente planos y detalles, conforma la documentación del proyecto desde un punto de vista más técnico y funcional para, en una primera instancia, obtener la licencia y, posteriormente, ejecutar lo establecido. Dicha forma de trabajar es actualmente la más común en los despachos de arquitectura e ingeniería, en la cual sigue sin haber una colaboración clara y continua entre las diferentes disciplinas y entes participativos.

#### ❖ Nivel 2

El Nivel 2 se define por la introducción del trabajo colaborativo en la metodología de trabajo. Nos encontramos en un modelo de trabajo en el cual todos los agentes trabajan con herramientas CAD o ya incluso BIM, pero no todos ellos trabajan sobre el mismo modelo compartido. Sin embargo, en este nivel aparece la colaboración de agentes, cuando existe un intercambio de información entre ellos mismos. Toda o parte de la información y documentación de diseño es compartida mediante un tipo de archivo común o distinto, pero que permite a cualquier agente el uso de la misma. Tal y como veremos más adelante, existen diferentes tipos de archivos estándar que permiten el intercambio de datos, destacando principalmente los archivos de formato IFC y los COBie.

#### ❖ Nivel 3

Por último, el Nivel 3 o también conocido como *Open BIM* viene caracterizado por la colaboración e interoperabilidad entre los diferentes participantes, desarrollando un modelo único que es compartido mediante un servidor accesible por cualquier agente desde cualquier lugar. Dicho nivel corresponde al destino de esta metodología, aún lejos de ser alcanzada por todos los agentes involucrados en la construcción. Pero para poder garantizar un marco que respalde a dicha forma de trabajo, es aun necesario definir ciertos aspectos legales y, lo más importante, una asimilación de los cambios por parte del sector. Con el alcance de dicho nivel será ya posible trabajar todo el ciclo de vida de un edificio, alcanzando finalmente la Práctica integrada o *Integrated BIM*.

### 2.6.2 Trabajo colaborativo

La piedra angular del BIM reside en el trabajo colaborativo entre los diferentes agentes. Pero dicha forma de trabajo sería inalcanzable si no fuese gracias a los programas informáticos, que permiten trabajar a diferentes profesionales en un mismo instante de tiempo y, lo que resulta más interesante, de manera coordinada sobre un modelo único a tiempo real.

El cambio necesario para llegar al trabajo colaborativo no responde únicamente al aprendizaje de nuevos softwares y programas informáticos, sino que también requiere un cambio en las personas y en la concepción de los sistemas de trabajo de la construcción. En este punto reside gran parte del *quid* de la cuestión. Para llegar a trabajar de forma colaborativa e integrada, los profesionales y otros agentes del sector de la construcción deben de cambiar radicalmente los procesos y flujos de trabajo y documentación, formas de hacer ya irrigadas en aquellos profesionales que llevan toda la vida profesional realizando su trabajo de cierta manera. La comunicación, coordinación y buen entendimiento entre las partes es imprescindible para el buen desarrollo del proyecto, siempre desde una fase inicial, con el fin de evitar errores, ser más eficientes y, sobretodo, de obtener la información útil, necesaria y completa para la toma de decisiones durante toda la vida útil del proyecto.

Los nuevos programas y planes de estudio de las universidades que ofrecen grados y postgrados relacionados con el mundo de la construcción deben también adaptarse a las nuevas metodologías y herramientas. La introducción en la enseñanza de herramientas BIM no solo propicia su aprendizaje por parte del alumnado, sino que también, los profesores docentes cuentan con mejores herramientas para desarrollar eficientemente ejemplos educativos más realistas. Según el autor Liébana (17), la incorporación progresiva de la metodología BIM en la docencia universitaria provocará un aumento de la demanda de profesionales competentes, así como también proporcionará nuevas habilidades a los estudiantes para hacer frente a nuevos retos con mayor eficiencia. Pero tratándose el BIM de una metodología caracterizada por el trabajo colaborativo entre diferentes agentes, no debe de ser menos que su enseñanza respecte este pilar fundamental. Es por eso que las distintas facultades y universidades deben fomentar la colaboración entre disciplinas mediante la metodología BIM, para que poco a poco los nuevos profesionales vayan adquiriendo sus buenas prácticas.

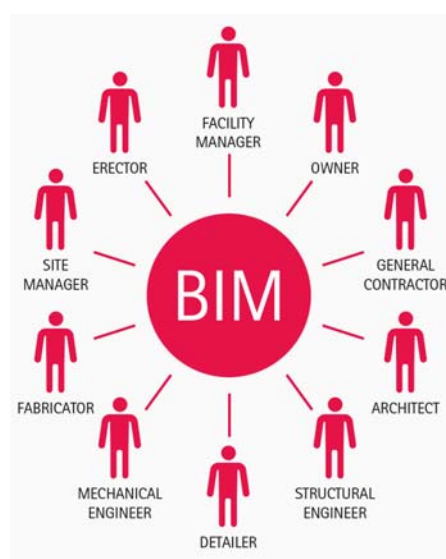
Uno de los ejemplos que muestra mejor el inicio de la adaptación de las nuevas tecnologías por parte de los centros de docencia, es el proyecto desarrollado por los departamentos de Ingeniería Civil y de la Edificación de la Universidad de Castilla y la Mancha (18). Ofrecen la posibilidad de llevar a cabo la realización tanto del Trabajo de Fin de Grado como de Máster en grupos de estudiantes de ambas disciplinas y participar posteriormente en el Concurso Internacional BIM. El proyecto iniciado por dicha universidad tiene como objetivos los siguientes puntos:

- Por un lado, crear un modelo de trabajo colaborativo entre diversas escuelas, en este caso, entre las escuelas de arquitectura e ingeniería.

- Hacer promoción de la metodología BIM, así como de sus herramientas hacia constructoras, profesionales, administraciones públicas y otras universidades.
- Formación del profesorado en materia BIM.
- Obtener alumnos con competencias en relación de la metodología BIM.

Como muchos avances que se aplican a los procedimientos de trabajo, buscan mejorar la calidad y optimizar el proceso, pudiendo obtener un ahorro económico. De una manera generalizada, la metodología de construcción clásica o tradicional avanza de forma lineal: a partir de una sucesión de procesos, en la que normalmente no se iniciaba uno hasta que no era finalizado el precedente. Esto daba lugar a retrocesos en el proceso constructivo, ya que podía darse el caso que la parte de diseño prevista por uno de los agentes sea incompatible con la solución de otra o simplemente muestre incongruencias. Acaba resultando un proceso de vaivén, donde se malgastan recursos y tiempo.

Uno de los principales objetivos del BIM, citados en el primer punto de este capítulo, es la necesidad de establecer una plataforma que permita el intercambio de información entre agentes tanto en la fase de diseño como de construcción. Con el BIM y la modelización virtual es posible el trabajo colaborativo entre intervinientes en tiempo real, agilizando y optimizando el sistema y desde cualquier lugar del mundo. Ahora es posible anticiparse a la mayoría de imprevistos que antes surgían de forma inherente al propio modelo y en la fase más requerida de recursos de la vida de una construcción: en la Fase de proyecto.



*Figura 11. Representación esquemática de los diversos posibles agentes involucrados a un modelo BIM. Fuente: <http://blogt.bcu.ac.uk/bsbe/>*

Varios profesionales y expertos de BIM destacan que esta nueva metodología sí que supone un cambio importante en el mapa de procesos y flujos de la información respecto a los que se emplean en la forma de trabajo convencional. Dichos cambios permiten pasar de un flujo lineal de la información a un flujo circular. Este cambio radical no es comparable con los cambios en los mapas de procesos cuando aparecieron y se expandieron los ordenadores y los softwares de CAD. Éstos permitieron una mayor agilidad y calidad final en la redacción de proyectos, no un cambio en los flujos de información.

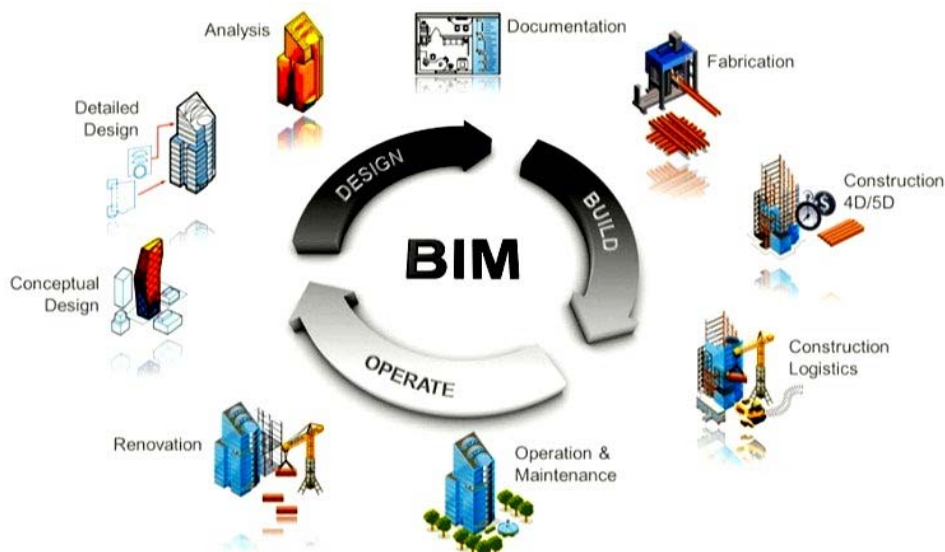


Figura 12. Flujo de trabajo circular metodología BIM. Fuente: <http://ctformacion.com/bruselas-desea-implantar-bim-en-la-union-europea/>

Anteriormente hemos citado la existencia de tipos de archivos IFC o COBie que permitían el traspase de información entre agentes. El desarrollo de estos nuevos tipos de archivo es fundamental para la consecución y utilización de la metodología BIM, permitiendo una interoperabilidad entre los diversos agentes y programas empleados (19). En cierta forma permiten unificar diferentes códigos en un único lenguaje entendido por los diferentes programas empleados en un proyecto constructivo completo, incluida la misma explotación del activo.

Pero al mismo tiempo es necesaria la existencia de una plataforma o servidor donde queden almacenados nuestros proyectos y puedan ser empleados en cualquier momento en cualquier lugar. Hoy en día existen diversas maneras de almacenar información en la nube, incluso ciertas empresas generadoras de softwares también han desarrollado las suyas propias, como es el caso de Autodesk y su aplicación A360.

Dentro de un equipo multidisciplinar y entendiendo el BIM como una metodología que abarca muchos aspectos de un proyecto, cada uno tendrá la posibilidad de trabajar la parte que le corresponda con unas competencias definidas por cada profesional u organización involucrada en el proyecto. De este hecho, surgen los perfiles o roles BIM, que tendrán que estar previamente definidos por un *BIM Manager*, personaje importante dentro del mundo BIM y que definiremos más adelante, que será quien se encargará de controlar todos los procesos y flujos de trabajo de una empresa y de cada proyecto.

De manera resumida podríamos definir el trabajo colaborativo o *Teamwork* en los siguientes cinco puntos clave:

#### 1) Tecnología cliente-servidor:

La base de trabajo está compuesta por un servidor central donde se almacena el modelo y el resto de información y por los ordenadores y otros hardwares de los agentes implicados. De manera que el servidor mantendrá el modelo BIM completo y actualizado en cada proyecto, mientras que los

miembros de cada equipo trabajarán en ordenadores locales y periódicamente envían y reciben cambios entre el servidor y su software BIM.

#### 2) *Reserva de elementos:*

Dentro del trabajo colaborativo es muy importante haber definido con anterioridad quién llevará a cabo qué partes del proyecto. Para ello, es adecuado que se establezca maneras de reservar y entregar una vez iniciado el proyecto elementos del modelo y otros datos relacionados con el mismo.

#### 3) *Roles o perfiles*

Los perfiles de cada usuario o profesional serán distribuidos según el criterio del *BIM Manager* y las cualidades que presente cada trabajador. De este modo resultan completamente configurables e, incluso, se podrán crear perfiles híbridos para usuarios con diversas competencias.

La figura del *BIM Manager* como ya hemos introducido anteriormente, será la responsable de definir los protocolos y procesos a seguir por una empresa para que tanto el trabajo colaborativo interno (de una misma empresa) como el externo (con otras empresas), es decir, de la coordinación general del sistema. Es necesario que tenga conocimientos avanzados tanto de conceptos técnicos (arquitectura e ingeniería), así como también de las herramientas empleadas. Debe garantizar la comunicación entre las partes implicadas, como también estar atento a las necesidades del proyecto, que pueden dar lugar a modificaciones, que posteriormente deben ser transmitidas con claridad a todos los agentes implicados. Recae sobre él también el papel de definir los estándares y criterios organizativos que mejoren la gestión del proyecto. Usualmente es el encargado de definir los perfiles necesarios para garantizar una organización y queden reflejadas las funciones de cada uno. Por último, deben llevar una supervisión de la organización tecnológica, definiendo los softwares empleados para el proyecto y cómo se lleva a cabo la organización de archivos, entre otros.

La figura del *BIM Manager* es esencial para el buen desarrollo de un proyecto BIM, por lo que su demanda es elevada. Este perfil es sumamente importante hoy en día, porque serán los encargados de liderar el cambio que se está produciendo en el sector de la construcción y, en concreto, en cada despacho o ingeniería que se implemente la metodología BIM durante los próximos años.

#### 4) *Mensajería integrada*

Para un correcto desarrollo del trabajo colaborativo es necesario establecer y definir el centro de comunicaciones que mantendrá el flujo del modelado. Permitirá la trazabilidad y seguimiento del proceso dentro del mismo proyecto, así como también la actualización progresiva del modelo a medida que se vaya definiendo. Existen diversas herramientas para la comunicación entre agentes, desde la tradicional vía correo electrónico hasta softwares especializados en intercambio de información BIM, como es el caso de *Revizto Workspace*.



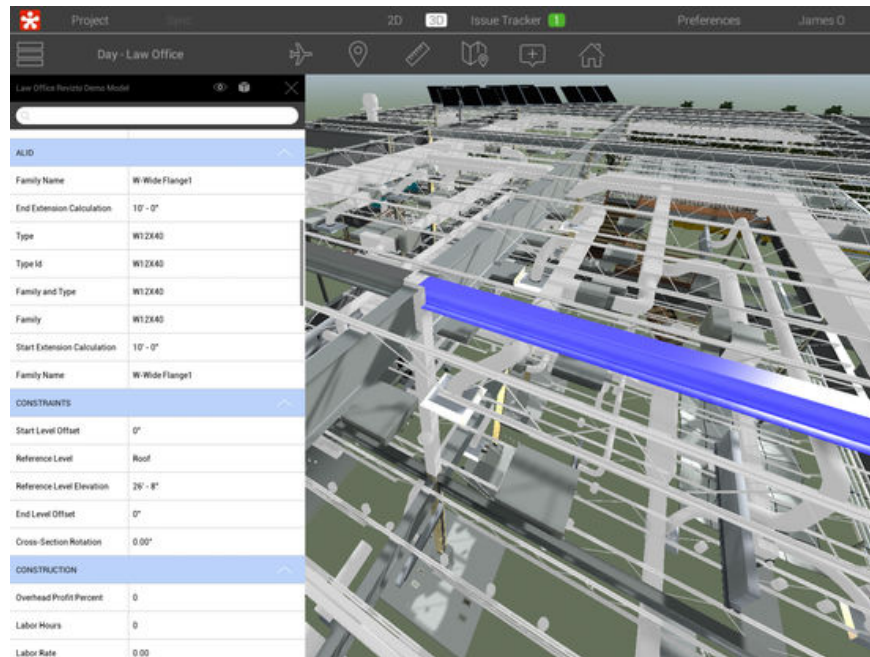


Figura 13. (izq.): Logo herramienta digital Revizto. Fuente: <https://revizto.com/es/>

Figura 14. (der.): Ejemplo visualización proyecto en Revizto. Fuente: Captura herramienta Revizto.

#### 5) Administrador del servidor web

El administrador del servidor web necesitará tener acceso universal, podrá acceder remotamente desde cualquier ubicación. Administrará el proyecto y el servidor. Será el encargado de separar los jefes de tecnología (*Chief Technology Officers*) y los coordinadores de proyecto, es decir, el *BIM Manager* y el Coordinador BIM, permitiendo un acceso controlado.

Como conclusión y para cerrar este punto, a continuación, se enumeran las ventajas que aporta el trabajo colaborativo a las empresas (19):

- ✓ Supone una mejora en la eficacia de los proyectos, ya que los profesionales podrán trabajar en el mismo proyecto de forma simultánea.
- ✓ Habiendo definido los roles y áreas de trabajo para cada profesional, se obtiene una mejor organización del trabajo, evitando las duplicaciones.
- ✓ Con la accesibilidad del proyecto por parte de todos los integrantes se consigue una transparencia, de manera que todos los miembros de un proyecto pueden comprobar el estado actual del mismo en cada momento.
- ✓ Aunque la adopción de nuevas formas de trabajo siempre resulta un poco complicada al inicio, las técnicas de colaboración se aprenden de forma muy sencilla, no requiriéndose una formación exhaustiva.
- ✓ Rapidez, como la cantidad de datos transferidos con los nuevos servidores es relativamente pequeña, ya que consisten principalmente en modificaciones y actualizaciones del modelo, la transferencia de datos no depende del tamaño de los archivos, lo que hace posible trabajar a través de cualquier red e incluso internet.
- ✓ Gracias al sistema de reserva de elementos a la carta y al rápido intercambio de datos, los miembros del equipo tienen la flexibilidad de poder acceder a cualquier parte del proyecto

en cualquier momento, independientemente del tamaño de la empresa o de la complejidad del proyecto.

- ✓ El servidor se convertirá en un componente dinámico en el proceso y permitirá garantizar la seguridad de los datos. Éste impedirá la inserción de datos corruptos. Si los datos del cliente resultan dañados en la red, el servidor los filtrará e impedirá que los datos dañados se integren en la base de datos del servidor.
- ✓ Trabajo offline, los profesionales podrán crear nuevos elementos o modificar aquellos que pertenezcan a su área de trabajo incluso en modo de trabajo offline, cuando en aquellos momentos dados no exista conexión entre el *BIM Cloud/ Servidor BIM* y su software local. Una vez se establezca la conexión podrán volver a enviar y recibir los cambios.
- ✓ El BIM realmente aporta grandes ventajas tanto para profesionales independientes, pequeñas y medianas empresas como para grandes organizaciones. Uno de los mayores saltos que realizarán los profesionales *freelance*, las pequeñas y medianas empresas, será con la flexibilidad que dispondrán cuando trabajen colaborativamente junto a otros profesionales independientes u otras organizaciones.

Esta nueva forma de trabajar puede solventar uno de los problemas que asfixian más a las empresas de hoy en día. Con tal de ofrecer gran variedad de servicios, contratan personas que pueden estar ciertos periodos de tiempo sin ningún proyecto en activo, suponiendo un coste fijo para la empresa. Es por esta misma razón, que la posibilidad de trabajar colaborativamente en un mismo modelo desde tu propia casa o despacho, permite a una empresa o grupo de trabajadores poder ser más flexibles, escalables y ofrecer más variedad de servicios en dependencia de los proyectos que se consigan, pudiendo disponer de una red de profesionales sin la necesidad de estar ligados laboralmente entre sí, comunicados en tiempo real entre ellos y sin la inconveniencia de la situación geográfica de cada participante.

### **2.6.3 IFC y COBie. Interoperabilidad**

Tal y como ya se ha mencionado con anterioridad, BIM no consiste únicamente en un software común para todos los agentes y tipos de proyectos, sino que es una metodología que engloba diversas herramientas y softwares, tanto de representación, cálculo y simulación. Es por ello, que es básico poder trabajar con todos aquellos programas que permitan aportar valor añadido al proyecto, sin tener que hacer y deshacer cada vez que empleamos uno de ellos.

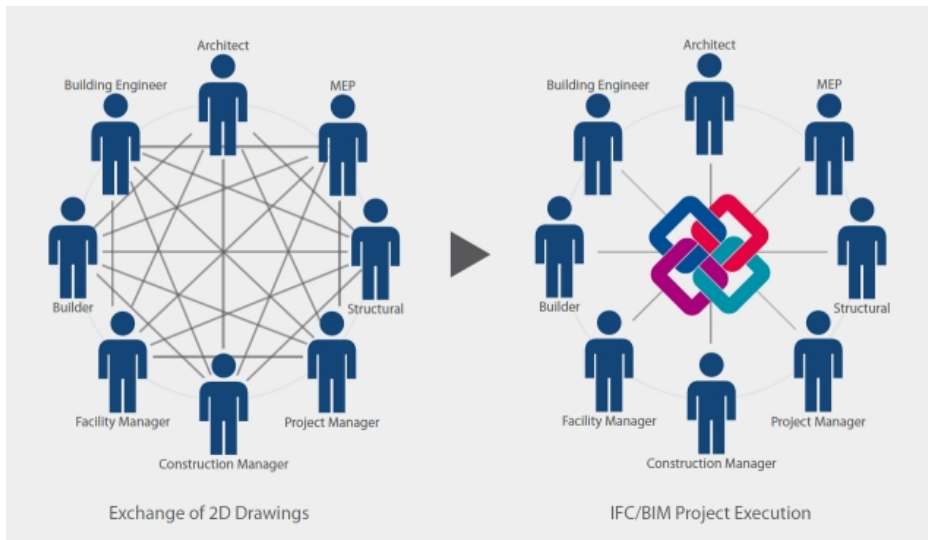


Figura 15. Modificación de las relaciones entre agentes según metodología tradicional y BIM. Fuente: <http://www.dds-cad.de/produkte/ihr-mehrwert/open-bim-und-ifc/>

Como solución a dicho inconveniente, existe el formato IFC (*Industry Foundation Classes*). IFC es un formato de datos de especificación abierta para el intercambio de información en sistemas BIM. Fue desarrollado por el IAI (*International Alliance for Interoperability*) predecesora de la actual *BuildingSMART* en la década de los 90, con el propósito de convertirse en un estándar que facilitase la interoperabilidad entre los diferentes programas informáticos del sector de la construcción (20).

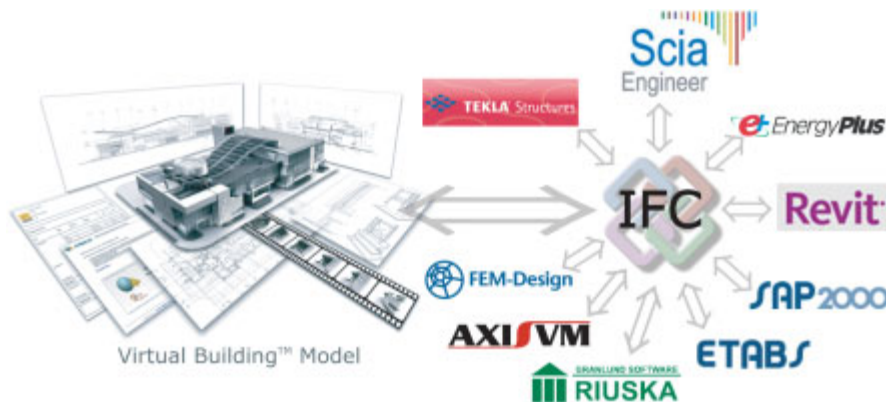


Figura 16. Interoperabilidad entre distintas herramientas gracias a IFC. Fuente: <http://visualmotion.com/pageview.aspx?id=30967>

Alcanzar la interoperabilidad completa entre las diversas herramientas informáticas empleadas por los agentes de la construcción es muy difícil de desarrollar y conseguir, ya que cada programa trabaja con códigos informáticos diferentes, siendo compleja la comunicación perfecta entre ellas. Es pues imprescindible conocer de antemano el alcance de la interoperabilidad mediante IFC entre diversos programas, para trabajar así de la manera más eficiente y rigurosa posible.

Sin embargo, aunque a día de hoy no se haya logrado una interoperabilidad casi perfecta entre herramientas informáticas, se obtiene un gran ahorro de horas de trabajo y comunicación entre los agentes involucrados en un mismo proyecto. La conversión de archivos provenientes de softwares

de modelado a IFC y sea pues importado a otros softwares de cálculo o dimensionamiento, hace que los proyectos adquieran otro nivel de eficiencia y calidad en sus etapas de desarrollo, en la entrega del modelo, creación documentación *As Built* o incluso en las tareas de *Facility Management*.

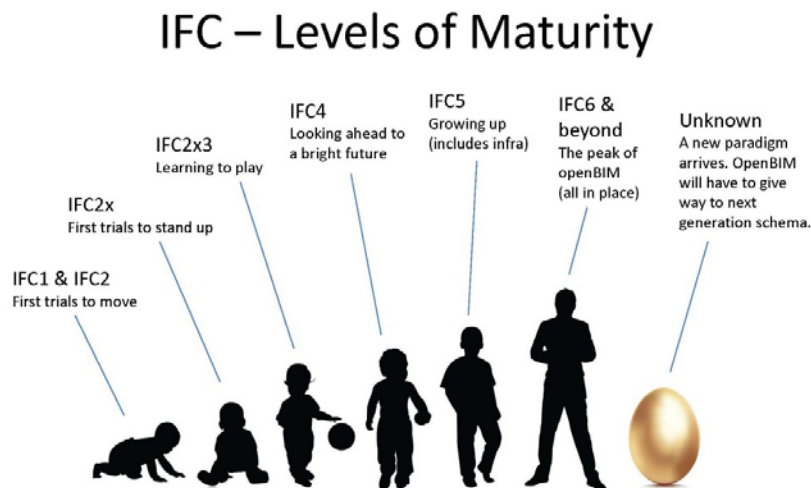


Figura 17. Evolución archivos IFC. Fuente: <https://www.buildingsmartcanada.ca/open-standards/>

Otra vía para la transferencia de datos de información son los archivos COBie (*Construction Operations Building Information Exchange*), que han sido desarrollados junto a IFC y también para suplementarlo. El objetivo principal de COBie es facilitar y estandarizar la transferencia de la información del proyecto de construcción, desde el diseño, construcción y *Facility Management*.

COBie se encuentra todavía en una etapa de desarrollo inicial. Aun así, varios softwares de diseño y de *Facility Management* están ya desarrollando herramientas con compatibilidad con COBie dentro de sus aplicaciones. Como documento más importante elaborado sobre COBie, en septiembre de 2014 se emitió como estándar británico un código de práctica COBie (21).

#### 2.6.4 Modelado digital 3D

A diferencia de los softwares de representación CAD, las herramientas de modelado BIM permiten dibujar y trabajar directamente con figuras 3D, permitiendo modelar con la misma secuencia y lógica con la que vamos a construir. Pero no únicamente obtenemos un modelo tridimensional, sino que también, a través del mismo es posible sacar toda la documentación gráfica de un proyecto, incluyendo planos de plantas, alzados y secciones. Esto cambia radicalmente la composición de nuestros planos, lo que antes eran únicamente líneas y figuras geométricas planas, se convierte en sistemas y elementos constructivos (22).

Una de las principales consecuencias de trabajar en un único modelo y a partir del mismo sacar los planos es que existe una vinculación directa entre el modelo y los planos. Explicado de una manera más entendible, cualquier modificación que se realice en el modelo queda repercutida en todos los

planos, actualizándose instantáneamente. Este hecho acaba con las interminables y laboriosas modificaciones y actualizaciones de proyectos realizados con herramientas CAD. Trabajar desde un principio en 3 dimensiones también facilitará a los profesionales integrantes de un proyecto y a los promotores a tener una mayor capacidad de decisión y evitar tantos cambios durante la fase de ejecución.

En conclusión, este gran avance nos permite ahorrar tiempo en la delineación de los planos, porque ya no hemos de interpretar cada sistema constructivo mediante un compuesto de líneas, sino que ya trazamos cada sistema constructivo en 3D y éste puede estar prediseñado muchas veces por el propio fabricante. Al ser cada elemento que introducimos un sistema real, tal y como será en la realidad, hace que el proyecto sea muy intuitivo y podamos anticiparnos a los posibles errores que puedan surgir en el futuro.

#### **2.6.5 Modelado paramétrico**

Pero las claves del BIM no residen únicamente en la forma de representación y creación de la documentación gráfica, sino tal y como indica el mismo nombre, la información es un pilar básico de la metodología. A la hora de dibujar, ya se ha dicho que no dibujamos líneas sino elementos, pero al mismo tiempo, éstos no están vacíos de significado, de ellos cuelga toda aquella información que le queramos adjuntar: dimensiones, propiedades físicas, precios, mediciones, proveedores...

Con la metodología BIM se trabaja bajo un modelo 3D lleno de información útil para todos los agentes involucrados durante todo el ciclo de vida del edificio, desde los promotores, despachos de arquitectura, ingenierías, constructoras, administraciones públicas, gestores de inmuebles e incluso para los usuarios finales.

Los mismos softwares de representación BIM contienen bibliotecas genéricas de sistemas y elementos constructivos para que podamos empezar a proyectar con cada uno de los comandos de trabajo que ofrecen los programas, aunque muchos de éstos por defecto sean sistemas vacíos de características técnicas, es decir, genéricos (22).

Cuando una empresa o despacho empieza a trabajar en BIM tiene que previamente organizarse y decidir qué y cómo va estructurar su biblioteca de objetos paramétricos o familias, de manera que vaya creciendo a medida que se vayan realizando proyectos. Una vez se obtenga una biblioteca lo suficiente amplia y detallada, se ganará en eficiencia de trabajo al no perder tiempo en generar y desarrollar familias de nuevo para cada proyecto.

#### **2.6.6 LOD (Level of detail) o Nivel de desarrollo**

El nivel de desarrollo de un proyecto llevado bajo la metodología BIM puede ser infinito, siempre se podrá definir la marca, modelo y otras características posiblemente irrelevantes de un pomo de puerta de un local técnico. Es por eso que cabe definir en qué nivel de detalle o desarrollo se va a

desarrollar el proyecto en cada fase de su concepción, desde los bocetos iniciales o proyecto básico hasta el As Built.

Para poder definir el nivel de desarrollo de un modelo BIM, es necesario primero saber para qué va a emplearse el mismo. Luego, los niveles de desarrollo permiten medir la cantidad y la calidad de la información entregada.

El inicio de los *Level of Details*, en adelante LODs, surge de la invención de *Vico software* (22). Con la definición de los mismos se buscaba mejorar la definición y alcance de los presupuestos en cada nivel de desarrollo. Pero fue más adelante, cuando la AIA (*American Institute of Architects*) vio que esta manera de diferenciación de niveles podía también ser utilizada para todos los usos de un modelo BIM. A día de hoy, los niveles de desarrollo son un concepto muy extendido y empleado por la comunidad BIM en ámbito internacional.

De manera muy resumida, podemos diferenciar los siguientes niveles de desarrollo (22) (23):

❖ **LOD 100**

Corresponde a un diseño conceptual del proyecto, aportando una visión general donde quede reflejado el volumen, la orientación y área construida.

❖ **LOD 200**

Este nivel incorpora magnitudes aproximadas, se empiezan a definir los elementos que conforman el modelo, sin llegar a la definición exacta de los mismos y por tanto de sus mediciones.

❖ **LOD 300**

El modelo representado incorpora información de los elementos definidos, así como también se obtiene una geometría más exacta y precisa. Puede ser complementado con detalles constructivos.

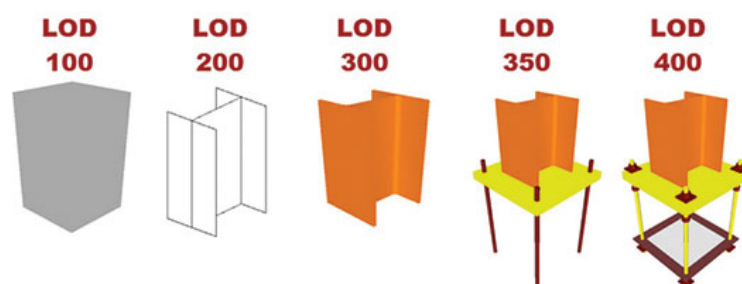


Figura 18. Ejemplo niveles de definición en apoyo estructura metálica. Fuente: *Level of Development Specification, version 2015, BIM Forum.*

❖ **LOD 400**

Corresponde al nivel el cual hace viable la ejecución del proyecto, es decir, contiene toda la información necesaria para ello. Se obtiene un nivel de mediciones exacto.

## ❖ LOD 500

Supone el último nivel de desarrollo del modelo que refleja la obra realmente construida. Además, se le acompaña de toda aquella información y características de los elementos para poder llevar a cabo el mantenimiento y gestión del mismo.

## 2.7 Aplicaciones del BIM

El empleo de herramientas BIM no está vinculado a una única fase del proyecto ni a un tipo particular de obras, sino que conforman un conjunto de herramientas útiles en toda la vida del proyecto. La metodología busca unir a los agentes vinculados para crear un ambiente de trabajo colaborativo, significando pues que cada uno de los participantes aportará su valor añadido a través de sus herramientas y hojas de trabajo.

Del modelo no únicamente obtendremos los planos necesarios para la ejecución de una casa unifamiliar o de un edificio de oficinas, sino que también tendremos a disposición un modelo apto para ser exportado y trabajado desde muchos puntos de vista.

### 2.7.1 Planificación y gestión de Proyectos

Una de las aplicaciones más empleadas y útiles de los modelos BIM es que permiten extraer planificaciones y simulaciones de la construcción. La llamada tecnología 4D en BIM permite la vinculación de los modelos BIM con actividades relacionadas con el *Construction Management*, tareas llevadas a cabo por el *Project Manager* y que son explicadas con más detalle en el capítulo siguiente, relacionadas con la planificación y gestión integrada de las obras.

La creación de simulaciones de fases constructivas permite, en una primera instancia, identificar los posibles conflictos inherentes en el proyecto. Permiten comprobar compatibilidades de tareas en espacio-tiempo similares y, a la vez, que posibilitan una mejora del rendimiento del proyecto. La planificación y organización de tareas se convierte en una puerta abierta a los agentes del proyecto, facilitando la administración de los recursos y el cronograma.

A continuación, se recogen algunas de las aportaciones de la tecnología 4D a los profesionales (24):

- Permite obtener un conocimiento más profundo del proyecto, englobando la misma fase de diseño hasta la finalización de la obra.
- En caso de ser necesaria la modificación de alguna solución prevista del proyecto, mejora la agilidad de los cambios al actualizarse la información y procesos constructivos de manera automática al encontrarse enlazada con el modelo virtual.
- La representación de simulaciones y la extracción de plannings a partir del mismo modelo da una mayor capacidad de decisión al responsable del proyecto.
- Mejora la comunicación y facilita el entendimiento entre los participantes del proyecto.



- Tal y como se ha dicho anteriormente, las simulaciones permiten identificar problemas e incongruencias, que reducen considerablemente los riesgos vinculados al proyecto.
- Supone un ahorro económico para el equipo de diseño cuando se deben realizar modificaciones de última hora.
- Previo y durante la ejecución de las obras, el modelo permite introducir información relativa a los pedidos y tiempos de aprovisionamiento, facilitando la coordinación entre subcontratistas y proveedores.
- Permiten una mejor exposición de propuestas de planificación, punto clave para ganar concursos y contratos.

En referencia a los softwares disponibles, hoy en día encontramos para la tecnología 4D varios de ellos compatibles para trabajar con los sistemas BIM de una forma coordinada. Destacan por su expansión y uso en despachos técnicos los siguientes: *Synchro*, *VICO* (Trimble), *Solibri* (Trimble) y *Navisworks* (Autodesk) entre otros, esta última empleada en el caso práctico realizado en el Capítulo 5. Estos software permiten enlazar un diagrama de Gantt realizado con *Primavera* o *Microsoft Project* con un modelo realizado con un software de arquitectura BIM como Revit, ArchiCAD, Allplan o AECOsim. Por otro lado, destacar la herramienta Aconex, que es una plataforma de gestión integral de proyectos ejecutados en BIM, orientada al uso de los *Project Managers*.

### **2.7.2 Mediciones y control de costes**

Otro de los logros más ansiados por los modelos BIM es que permiten la extracción y actualización de mediciones y presupuestos. Cada elemento definido tendrá su representación en el presupuesto, incorporando sus mediciones reales. Las medidas pueden ser longitudes, áreas y volúmenes, tanto en valores brutos como netos, como por ejemplo, el descuento de huecos en el caso de los muros. Estas magnitudes son extraídas desde el mismo modelo o por un programa de mediciones desde un archivo IFC y son utilizadas para el cálculo de las líneas de medición de cada partida.

Aun así, para obtener unas mediciones exactas y fiables tendremos que definir primero el proyecto tal y como nos convenga, dependiendo de la fase del mismo en el que nos encontremos. Esta capacidad aporta un grandísimo ahorro de cálculo repetitivo sobre las mismas mediciones, por diferentes profesionales y empresas sobre un mismo proyecto. Sin embargo, es recomendable comprobar siempre que las mediciones se ajusten a la realidad, porque pueden surgir problemas de definición de elementos o de enlaces entre elementos y partidas, de manera que hayan mediciones necesarias en un proyecto que no son posibles de extraer de un modelo.

La realización de los presupuestos en BIM nos permite (25):

- Iniciar la redacción del presupuesto en etapas más tempranas de definición.
- Da lugar a una coordinación más fiable de la información presupuestaria entre el equipo de proyecto.



- Detección de posibles erratas e incongruencias contenidas en el proyecto.
- Consulta de mediciones y presupuesto de ciertos elementos en particular o en distintas fases del proyecto.
- Cambios rápidos en fase de proyecto de mediciones y precios.

En cierto modo, el empleo de sistemas BIM no elimina la figura del encargado de extracción de mediciones, sino que debe ahora controlar diversos softwares tanto de modelado como de extracción de mediciones y a la vez ser conocedor de los elementos técnicos previstos y de los procedimientos de construcción empleados. Resulta pues, que el técnico a cargo de las mediciones se convierte ahora en un especialista en mediciones.

Para la extracción de mediciones de un modelo es necesario que se cumplan y se tengan en cuenta una serie de requisitos (26). En primer caso, uno de los atributos del modelo más importante para una correcta extracción de mediciones es la consistencia del modelo: es necesario que todos los elementos constructivos se modelen a partir de requisitos BIM y que el método empleado en el modelado se documente en las especificaciones BIM. El simple hecho de realizar el modelado de manera distinta en diversas partes puede dar lugar a dificultades.

Tal y como se ha visto anteriormente, existen diferentes niveles de definición BIM o en inglés LODs. El nivel de detalles del BIM quedan descritos en los requerimientos del modelo según la fase en que se encuentre, contenidos en el *BIM Project Execution Plan* o en castellano Plan de Ejecución BIM, documento explicado en detalle en capítulos posteriores. El mismo nivel de detalles determina el nivel de precisión de las mediciones extraídas.

Puede darse la situación que los modelos arquitectónicos, de estructura y de instalaciones se encuentren en niveles distintos de definición. Para evitar extracciones de mediciones incorrectas, es necesario que el especialista sea conocedor del nivel de extracción BIM y qué elementos no se deben tener en cuenta.

La información de medida que es usualmente empleada en la extracción de mediciones es la siguiente (26):

- Número de elementos.
- Medida de longitud (longitud, perímetro, altura).
- Medida de área (área de superficie neta, área de superficie bruta).
- Medida de volumen (volumen neto, volumen bruto).
- Peso (peso neto, peso bruto).

El modo de intercambio de la información utilizada en el proyecto y la aplicación de software empleada para la extracción de mediciones afecta al listado e información de mediciones obtenida. Usualmente, el contenido de información BIM es más completo en el formato del archivo original BIM, por lo que se recomienda emplear el mismo modelo original para la extracción de mediciones siempre que fuera posible. En el caso de que el software empleado requiera de un archivo en formato IFC, el técnico a cargo de las mediciones deberá verificar que los elementos constructivos han sido exportados al archivo IFC de manera correcta y completa y que la herramienta empleada para su extracción se capaz de procesar los elementos contenidos en el archivo IFC.

Al resultar un proceso repetitivo y de fácil realización una vez se ha comprobado la compatibilidad de los elementos del modelo con el software de extracción, es posible analizar los cambios en las mediciones durante las fases de diseño y construcción. La frecuencia de control del estado de mediciones dependerá de las necesidades del proyecto.

Es esencial emplear una nomenclatura específica para cada proyecto, de manera que cada tipo de construcción o elemento de cada instalación están especificados mediante un identificador. Los sistemas de nomenclaturas más utilizados en construcción e ingeniería son los listados a continuación (26):

- Nomenclatura de proyecto Talo 2000.
- Nomenclatura de fabricación/producción Talo 2000.
- Nomenclatura de producto Talo 2000.
- Nomenclatura HVAC 2010
- Nomenclatura eléctrica S2010

Durante la fase de diseño resultará interesante la extracción de valores fundamentales, tales como superficie bruta del proyecto en cuestión, volumen y superficie de fachada. También será posible realizar la extracción y clasificación de superficies de los espacios según los usos establecidos. En fases tempranas de diseño, la medición de áreas puede ser también empleada para la estimación de superficies para la venta o alquiler, tareas de comercialización.

Es usual el empleo de mediciones durante las fases de licitación y obra basadas en el rendimiento y recursos, momento en el coexisten el modelo arquitectónico, de estructura, de instalaciones, el modelo de planificación general y la planificación de contrataciones. Se emplean los elementos constructivos y de instalaciones que el modelo contiene para desarrollar diferentes tipos de documentos de licitación (ofertas y órdenes de compra, entre otros), tareas de producción y planificación detallada.

En otros casos, puede resultar interesante la extracción de mediciones por áreas de trabajo, principalmente en aquellas obras de gran magnitud o en las que se encuentran diversas fases de construcción en el mismo instante de tiempo. Sin embargo, la asignación de elementos constructivos a las localizaciones o áreas deseadas pueden requerir diferentes tipos de medidas adicionales en función de la aplicación software utilizada.

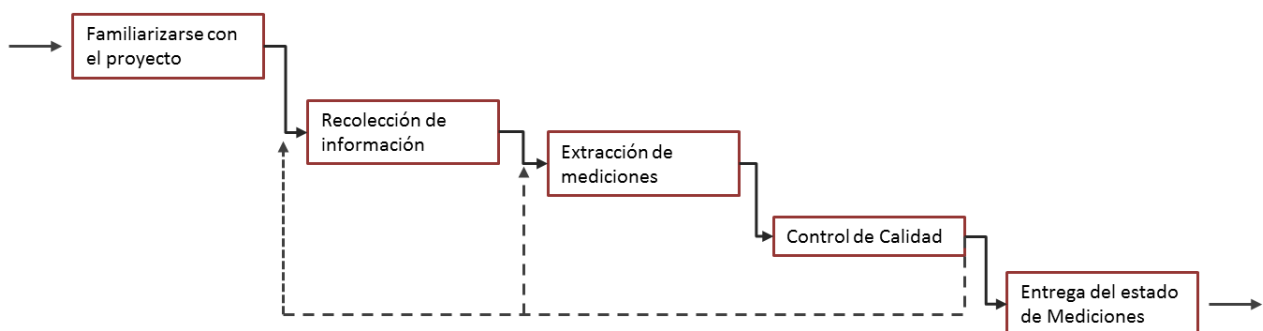


Figura 19. Proceso extracción de mediciones modelo BIM. Fuente: Elaboración propia.

Antes de iniciar el proceso de extracción de mediciones es recomendable realizar una primera visión global del proyecto para familiarizarse con el mismo. Seguidamente, se recomienda recopilar la información origen para la extracción, así como de las versiones correctas y actuales del proyecto. Deben también concretarse algunos puntos para un correcto desarrollo de la extracción de mediciones (26):

- Decidir si la extracción de mediciones se hará desde el modelo de una sola disciplina o varias. En el caso que se empleen modelos distintos para cada una de los ámbitos de diseño, se deberá concretar qué mediciones se extraen de cada uno de los modelos.
- Decidir si la extracción se hará a partir del modelo BIM original o de un archivo IFC generado por el modelo.
- En el caso de extraerlas del mismo modelo BIM, comprobar que el material recibido contiene todos los elementos necesarios y referencias externas.
- Determinar el alcance de las mediciones a extraer del modelo.
- Tener en cuenta el nivel de detalle del modelo o si por el contrario existen partes del modelo con niveles distintos.
- Comprobar que la documentación de los diferentes documentos del proyecto es consistente con el modelo BIM.

Es recomendable después de completar la extracción de mediciones analizar el alcance, precisión y fiabilidad de las mismas. Puede resultar de gran ayuda comprobar las mediciones por tipo de elemento, por ejemplo, comparándolos con valores de referencia u objetivo. Cabe ser conscientes de que los resultados de la extracción de mediciones están asociados a un conjunto de información, esencialmente un modelo BIM (26).

Por último, recordar que la extracción de mediciones a partir de modelos BIM o softwares no elimina todos los problemas. Se mantienen los problemas relacionados con la duplicidad de partidas o mediciones debidas al solape de modelos o como también las cubiertas dibujadas con la opción multiforma (permite dibujar cubiertas con geometría irregular como de si un único elemento se tratase) (26).

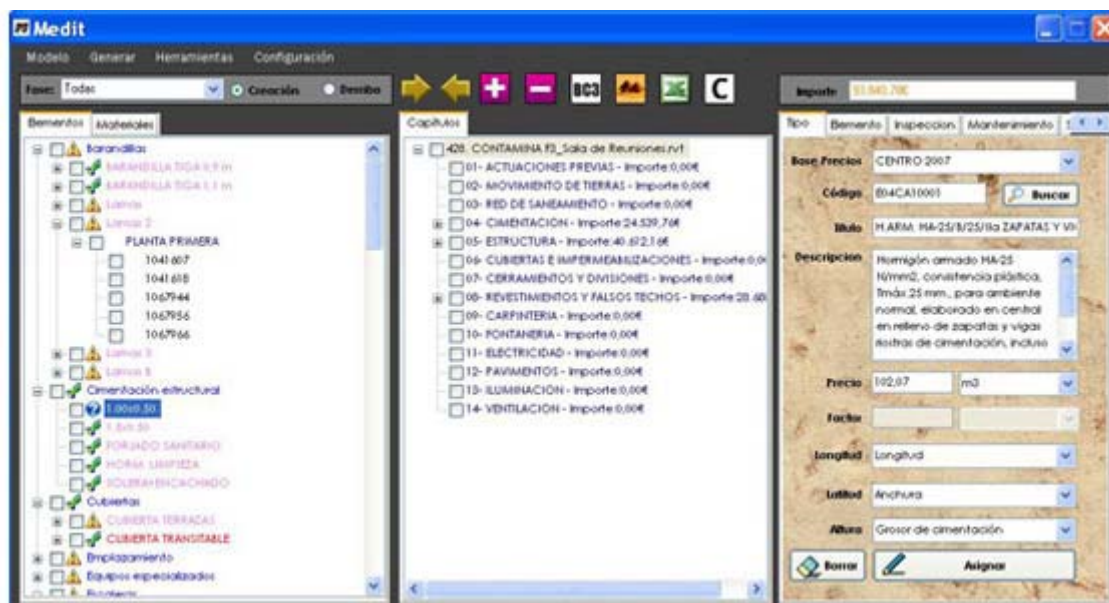


Figura 20. Visualización área de trabajo herramienta Medit (Autodesk). Fuente: <http://bimiberica.es/aplicaciones/medit/>

Hoy en día encontramos ya numerosos programas de cálculo de mediciones y control de costes que permiten ser enlazados mediante archivos IFC con el modelo de arquitectura, tales como *Arquímedes*, *Vico (Trimble)*, *Presto*, *Medit (Autodesk)*, *Arktec*, etc (25).

### 2.7.3 Estructura e Instalaciones

Dentro de las herramientas BIM es muy importante saber diferenciar entre los software de representación y los software de cálculo y dimensionamiento. Los primeros, software de representación, permiten el diseño tanto de aspectos constructivos, estructuras e instalaciones, incorporando diferentes módulos para cada uno de los aspectos anteriormente citados. Los más representativos a nivel mundial son los siguientes: *Revit*, *Allplan*, *AECOSim* y *ArchiCAD* (27). Pero por otro lado, con el fin de dimensionar y calcular una estructura tendremos que hacer uso de otros softwares especializados para ello, por lo que tendremos que enlazar nuestro modelo a los softwares. Existen varias maneras para llevar a cabo ese enlace, por lo que cada equipo de trabajo deberá buscar la solución que más le convenga, en función de las herramientas que emplee con asiduidad y según la de sus colaboradores.

En términos generales, resulta bastante fácil transformar nuestro modelo a un formato IFC para luego poder abrirlo con la herramienta deseada. Sin embargo, no hay que eludir que a día de hoy existen incompatibilidades con ciertos elementos estructurales, como sucede en el caso de abrir en *CypeCAD* según qué pilares metálicos dibujados con la herramienta de representación *Revit*. Aunque tal y como se ha dicho, no tiene por qué resultar una tarea demasiado complicada. El principal problema reside pues en la exportación del modelo tratado y estudiado de nuestro programa de cálculo al formato IFC para poder abrirlo de nuevo en nuestro sistema de representación de modelos. Existen problemas de lectura de elementos, por los que el programa de representación trata a ciertos elementos previamente definidos y con unas características dadas, como únicamente elementos que comparten dimensiones, pero sin ser identificados como tal. A

día de hoy se está trabajando para mitigar dichos problemas, como por ejemplo con la nueva versión de IFC 4.

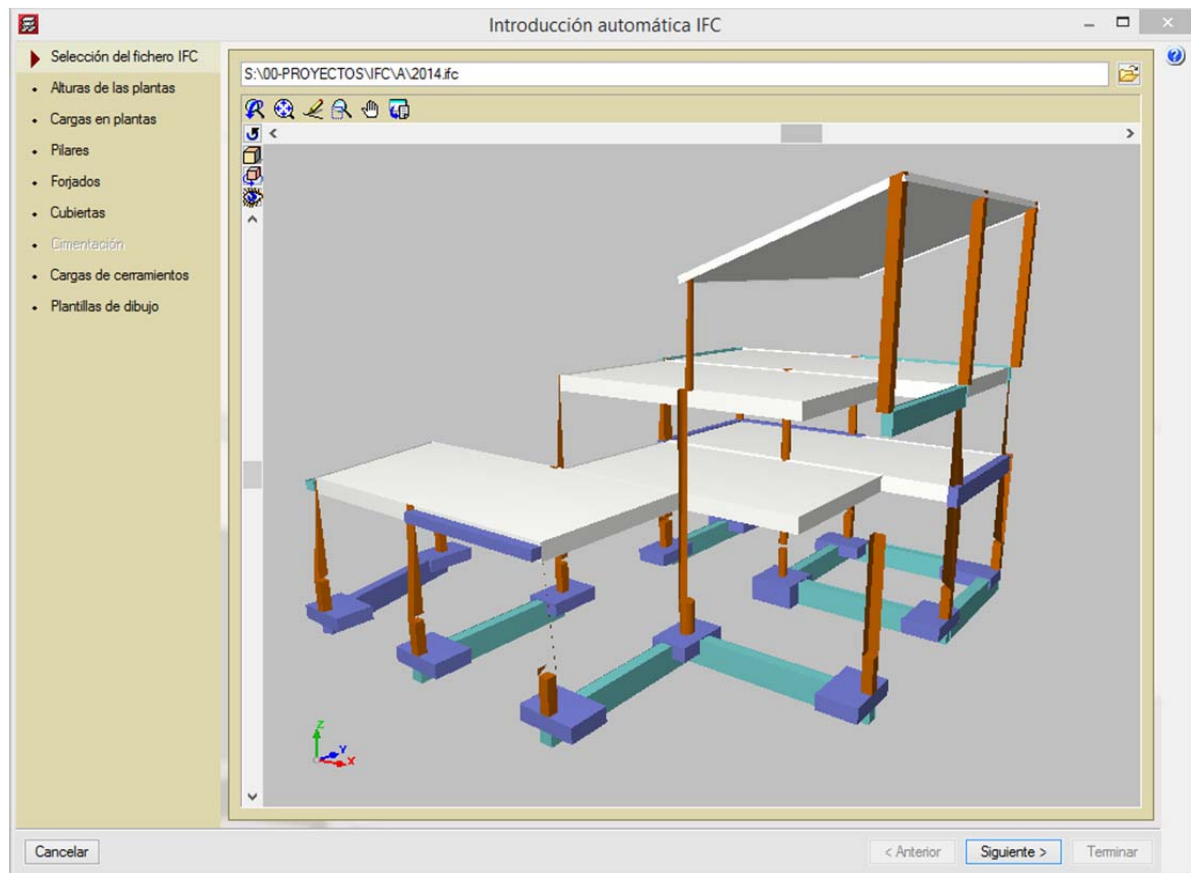


Figura 21. Importación modelo BIM al software de cálculo CypeCAD. Fuente: <http://www.soloarquitectura.com/>

Para evitar esta pérdida de información, ciertos equipos de trabajo prefieren volver a representar las instalaciones y elementos estructurales en el modelo mediante los módulos de representación arquitectura, estructura o MEP (*Mechanical, Electrical & Plumbing*) (27).

#### 2.7.4 Análisis y estudios de eficiencia energética

Actualmente, cada día se busca realizar proyectos más sostenibles, más respetuosos con el medio ambiente, que buscan limitar la huella ecológica. Para hacer estudios detallados y necesarios sobre las características energéticas que definen un proyecto, es de especial utilidad emplear modelos BIM, complementados con información relativa al asunto (transmitancias, coeficientes térmicos, etc), como base de estudio y análisis en programas más especializados.

Haciendo un repaso por el contexto internacional de la búsqueda y mejora de la eficiencia de los edificios, son los gobiernos y administraciones públicas quienes han sido los primeros en promover los modelos BIM para un estudio más completo y real en términos energéticos. Según el informe de la IDEA (*Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía*), las viviendas llegan a consumir un 17% del consumo total final, suponiendo al mismo tiempo un 25% de la demanda de energía

eléctrica. Entes de organizaciones de mayor escala, como la Unión Europea, han publicado diversas directivas para promover una mejora de la eficiencia energética, así como también fomentar el uso de energías renovables (28).

Otro de los usos que puede darse al BIM, consiste en abordar y mejorar la eficiencia energética de edificios ya existentes a través del uso del BIM. Según datos ofrecidos por la Unión Europea, casi el 40% de los gases que provocan el efecto invernadero son emitidos por los edificios existentes. Es por eso que países como el Reino Unido, Países Bajos, Dinamarca, Finlandia y Noruega ya requieren el uso de BIM para proyectos de construcción financiados con fondos públicos. En la caso de Cataluña, se ha fijado la fecha de 2018 para el uso obligatorio de proyectos públicos de equipamientos e infraestructuras por un valor superior de 2 millones de Euros, a través del Manifiesto BIMCAT que se presentó en el *European BIM Summit* del 2015 (11).

Como conclusión, las políticas de la Unión Europea buscan promover la eficiencia energética en el transporte y la construcción, que son los dos sectores en que puede reducirse más el consumo. Tanto los propietarios como los arrendatarios de edificios o viviendas obtendrán incentivos para la renovación y otras medidas de ahorro de energía.

BIM es la tecnología y metodología de trabajo que permite al sector de la construcción tener un mayor control, durante todo el ciclo de vida de un edificio, tanto en la eficiencia energética de nuestros edificios, como el consumo o coste medioambiental de nuestras construcciones y los rendimientos del uso de energías renovables. Hasta ahora, realizar análisis energéticos con programas CAD era una tarea imposible y teníamos que desviarnos a otras herramientas externas para poder realizar simulaciones. Los softwares BIM en cambio, son capaces de integrar las propiedades técnicas de nuestros materiales empleados en proyecto. Con las herramientas BIM podemos realizar ya estudios de eficiencia energética en fase de proyecto con el fin de poder valorar las mejores soluciones constructivas en función de parámetros medioambientales.

Los beneficios que obtiene el cliente por el hecho de promover y exigir proyectos eficientes energéticamente permiten dar un valor añadido extra al activo, al mismo tiempo que puede incrementarse la rentabilidad de la inversión al reducirse ciertos costes de suministro.

Grandes empresas de software como por ejemplo *Autodesk*, *Graphisoft* o *Bentley*, han creado aplicaciones basadas en la eficiencia energética de los edificios. Para aprovechar los parámetros a partir de los cuales obtenemos la información del edificio, las aplicaciones se basan en el modelo volumétrico BIM, un cuestionario en el que se indica el uso del edificio o contexto, el tipo de construcción y la ubicación del proyecto. Tras introducir todos los datos, las aplicaciones nos proporcionan los resultados obtenidos mediante gráficos, de forma que el usuario puede ver las deficiencias de su proyecto y le permite modificar los supuestos del caso base y luego ejecutar una simulación para que pueda calcular el impacto de estas modificaciones en materia de eficiencia energética. Esta característica nos ayuda a tomar decisiones importantes de diseño más rápidamente (28).

En el caso de *Autodesk*, la empresa ha apostado por un servicio web en la nube llamado *Autodesk Green Building*, que permite evaluar los perfiles de energía y las huellas de carbono de diversos diseños de edificios. El servicio web ofrece funciones de análisis del uso de la energía, el agua y las emisiones de CO<sub>2</sub> de forma gráfica, para simular y analizar a fondo el rendimiento del edificio. Otras entidades y organismos cuyo objetivo es la evaluación y la certificación de la calidad medioambiental de los edificios, como por ejemplo LEED (*Green Building Council*), también han desarrollado sus propios módulos para poder ser integrados y enlazados sobre un modelo BIM. De esta forma se pueden automatizar muchos cálculos de la herramienta, mejorar las decisiones de diseño y agilizar los envíos de la documentación requerida a la entidad, directamente desde el entorno del modelo (28).

## 2.8 ¿Es posible medir los beneficios del BIM respecto al sistema tradicional?

Desde una visión general, los profesionales y agentes que trabajan con tecnologías BIM hablan de las ventajas que la misma metodología les aporta, así como también los objetivos a los que se dirige que tanto pueden mejorar la eficiencia de los proyectos. Pero cabe decir, que son muy pocas las metodologías de cálculo relevantes y aceptadas para medir de manera fiable y correcta los beneficios del BIM en proyectos. Existe gran variedad de perspectivas y opiniones sobre las ventajas y beneficios que aporta, creando un ambiente poco claro de las mejoras conseguidas.

En febrero de 2012, la universidad del estado de Arizona, Estados Unidos, elaboró un estudio para desarrollar una metodología más completa para analizar los beneficios del BIM (29). El modelo se apoyó en distintos casos de estudio reales con características y escalas similares, implementando en ciertos de ellos metodología BIM y en otros el sistema tradicional.

Una de las causas que dan lugar a distintas interpretaciones de los beneficios del BIM es la gran cantidad y variedad de agentes que interactúan con el BIM, ofreciendo el BIM una perspectiva distinta para cada uno de ellos.

La variedad de beneficios del BIM explicitados por diversos agentes, se podría comparar también con las diferentes definiciones que dan distintos profesionales del BIM. Por un lado, un artículo publicado por *McGraw Hill* define el BIM como el procesos de creación y uso de modelos digitales para el diseño, construcción y/o operaciones de proyectos, mientras que por ejemplo un documento emitido por la *National BIM Standard (NBIMS)* define el BIM como la representación digital de características físicas y funcionales de un activo, siendo tanto su uso para compartir fuentes de información sobre el proyecto en cuestión dando lugar a una base fiable de información para la toma de decisiones.

La frecuencia y variedad de definiciones del BIM ilustran la confusión en definir y cuantificar la metodología BIM y, en consecuencia, medir sus beneficios potenciales. Esta deficiencia no solo impide el proceso colaborativo de los diferentes agentes, sino que también hace que la valoración de la efectividad del BIM sea demasiado general y cualitativa. Existe pues la necesidad de una

metodología relevante que permita evaluar los beneficios esperados del BIM en cualquier tipo de proyecto desde una perspectiva de negocio, de la mano de un esquema válido.

El objetivo principal del estudio elaborado por la Universidad de Arizona era pues medir de manera empírica información de proyectos realizados con metodología tradicional y BIM para determinar si la utilización del BIM puede ser beneficiosa en proyectos de construcción. Hasta la fecha del estudio se habían realizado gran cantidad de casos de estudio, entrevistas, encuestas y análisis individuales y teorías, pero según defiende *Bakis* (30) los casos de estudio es el método de investigación más apropiado para analizar los beneficios de una nueva tecnología de la información. Los casos de estudio permiten presentar la información en el contexto particular de cada proyecto. Por otro lado, las entrevistas y experimentos pueden ser inefectivos debido a que el impacto de nuevos sistemas tiene variables y factores que no pueden ser extraídas del contexto original, resultando las conclusiones víctimas de la subjetividad.

El estudio se inició con la revisión y lectura de gran cantidad de bibliografía ya escrita, analizando la información actualmente ya disponible sobre consideraciones de las posibles ventajas aportadas por el BIM y con los siguientes objetivos: determinar medidas adecuadas para la valoración de beneficios del BIM, búsqueda de resultados o información de parámetros de medición empleados en variedad de proyectos y asistir en el posterior desarrollo y percepción de un modelo de medida de beneficios que pueda ser aplicado a los casos de estudio desarrollados en el mismo estudio y en proyectos futuros. De todos los documentos revisados únicamente 21 de ellos contenían información en relación los beneficios obtenidos a través de la actualización del BIM. Aun así, solo cuatro de las fuentes contenían algunos resultados cuantificables basados en casos de estudio. Después de una examinación más detallada de los casos de estudio, no existía ninguna metodología que permitiese calcular los beneficios de otros proyectos y cómo elaborar una comparación válida entre la metodología tradicional y BIM para extraer beneficios. Sin embargo, la información abstraída provenía principalmente de la perspectiva del contratista, no del promotor (29).

Existen grandes dificultades en determinar qué medir y cómo medirlo en proyectos de construcción, resultando un desafío la cuantificación de cambios y beneficios. Usualmente se emplean KPIs (*Key Performance Indicators*) o en castellano Indicadores Clave de Rendimiento, como también la productividad de procesos. Sin embargo, puede darse el caso que los KPIs no sean uniformes en distintos proyectos y puedan dar lugar a percepciones confusas: qué debe ser medido, cómo debe ser medido, cuáles son las fuentes del cambio o cómo evaluar el éxito o fracaso de proyectos. Por otro lado, la productividad como medida popular de análisis tiene el riesgo inherente de basarse en una opinión subjetiva. Por otro lado, se escogieron como beneficios a analizar el calendario de obra, las órdenes de cambio, *Request For Information* (RFIs) o en castellano solicitud de información y coste de construcción.

El siguiente paso fue la creación de un esquema de la metodología a desarrollar para cuantificar los beneficios del uso del BIM. El orden de actuación es el siguiente (29):

- Establecimiento de medidas o KPI para recoger y cuantificar los costes y beneficios del BIM.
- Comprobación de medidas entre casos de estudio. Especialmente a proyectos que no emplean metodología BIM contra aquellos que sí la emplean en la misma organización con el fin de minimizar variables.



- Evaluar la información resultante proveniente de los casos de estudio para cuantificar beneficios y costes asociados al uso del BIM.
- Proporcionar conclusiones de los datos.
- Validar el esquema del modelo resultante establecido para evaluar el beneficio global.

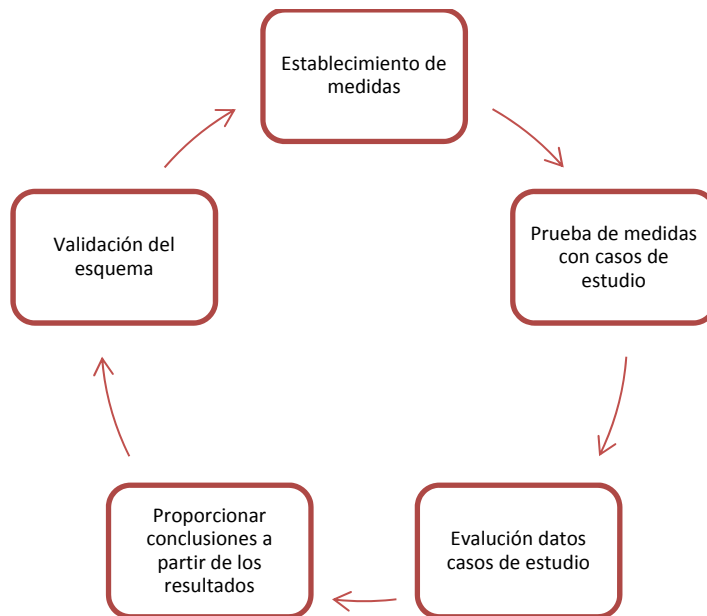


Figura 22. Esquema creación metodología medida beneficios del BIM en proyectos. Fuente: Elaboración propia.

Los principales desafíos y dificultades en la evaluación de beneficios en el negocio de sistemas de información pueden ser categorizados en seis áreas (29): (a) algunos de los beneficios pueden ser intangibles, (b) los cambios organizacionales pueden ocurrir como resultado de la introducción de un nuevo sistema, (c) los beneficios del negocio evolucionan durante el ciclo de vida del sistema, (d) diversos agentes involucrados evaluarán de manera subjetiva el sistema y podrán tener conflictos en sus respectivas opiniones, (e) los usuarios pueden sentirse intimidados o coaccionados por el nuevo sistema y cómo puede afectar de manera negativa en sus trabajos y (f) dificultades de uso, tales como uso impropio, sistemas interconectados e incapacidad de dividir sistemas relacionados y beneficios.

El caso de estudio se basa en una empresa que buscaba incrementar su eficiencia e inclinarse hacia la utilización de metodología BIM, tanto en su diseño, construcción y mantenimiento de sus instalaciones. La empresa desarrolló una serie de pruebas para implementar el modelado 3D para el diseño y construcción de sus equipos para la fabricación de materiales semiconductores. Los equipamientos considerados en las fábricas consistían en el levantamiento del complejo, como también la ejecución de instalaciones eléctricas, mecánicas, fontanería y estructurales. La implementación BIM en el proceso previsto por la empresa consistía en desarrollar los modelos 3D en paralelo con modelos 2D, actuando estos últimos más como complemento que reemplazo. Los modelos 3D fueron empleados en tres específicas áreas funcionales, aquellas que representan los equipos e instalaciones más complejos. El caso de estudio de la empresa en cuestión proporcionó al estudio una oportunidad de examinar apropiadamente los beneficios del uso del BIM obtenidos por un propietario de grandes dimensiones, bajo múltiples proyectos. Comparando múltiples proyectos bajo el mismo contexto, el caso de estudio cuenta con la ventaja de encontrarse con un ambiente más estable, en el cual los factores externos, tales como fluctuaciones del escenario y complejidades, pueden mantenerse relativamente constantes.

Se emplearon 3 casos de estudio, donde se compararon tanto medidas para proyectos desarrollados bajo metodología tradicional como por metodología BIM que posteriormente serían comparados con el objetivo de obtener posibles beneficios de negocio del uso del BIM.

En el caso 1 (29), se prestó especial atención al retorno, comparando dos proyectos históricos realizados bajo metodología tradicional con otros dos proyectos de prueba de áreas funcionales similares. Este caso se desarrolló sin suponer un coste adicional por parte del propietario y no era completamente el alcance esperado del trabajo, por lo que no pudo ser utilizado como representación de inversión BIM.

El caso 2 (29) prestaba atención básicamente a las inversiones, basado en un proyecto desarrollado durante el estudio que empleaba tanto metodología BIM como tradicional en las mismas tres áreas funcionales comentadas anteriormente. Este caso proporcionaba un punto de referencia para el diseño BIM y construcción.

Por último, el caso 3 (29) considera tanto los retornos como las inversiones focalizados en una única de las áreas funcionales, basados en dos proyectos anteriores llevados sin metodología BIM, otros dos proyectos ya ejecutados bajo metodología BIM y un proyecto actual llevado bajo BIM y otro no. Los datos se compararon como medidas totales de metodología no BIM y BIM.

Tal y como se ha comentado con anterioridad, una de las dificultades del estudio es encontrar los criterios y sus respectivas unidades de medición para cuantificar tanto las medidas del retorno como la de las inversiones. En la tabla siguiente se detallan las medidas empleadas en cada caso (29):

Medidas del retorno		
Criterio	Cálculo	Unidad
<i>Request For Informations (RFIs)</i>	Cantidad de RFIs / cantidad montaje o pieza	#
<i>Órdenes de cambio</i>	Coste de la modificación / coste total del proyecto	%
<i>Planning</i>	Duración actual / duración prevista	%
Medidas de la inversión		
Medida	Cálculo	Unidad
<b>Coste de diseño</b>		
<i>Coste Arquitectura e Ingeniería</i>	Coste BIM servicios Arq&Ing / Coste total del diseño No BIM y BIM alcance asignado	\$ / \$ = %
<i>Coste creación modelo 3D antecedente</i>	Coste BIM creación modelo antecedente / Coste total del diseño No BIM y BIM alcance asignado	\$ / \$ = %
<b>Coste de construcción</b>		
<i>Coste contratista</i>	Coste BIM contratista / Coste total construcción No BIM y BIM alcance asignado	\$ / \$ = %
<i>Coste diseño + construcción</i>		
<i>Ahorros generales con BIM en el diseño y construcción</i>	Coste diseño BIM + Coste construcción BIM / Coste total construcción No BIM y BIM alcance asignado + Coste total diseño No BIM y BIM alcance asignado	\$ / \$ = %

*Tabla 3. Medidas y unidades de medición empleadas para medir el retorno e inversión del uso BIM en proyectos constructivos. Fuente: How to measure the benefits of BIM – A case of study approach, Kristen Barlish, Kenneth Sullivan, Arizona State University, United States, 17 february 2012.*

*Nota 1: los datos de los casos fueron recopilados a través de la misma empresa y de numerosos agentes partícipes en los proyectos.*

*Nota 2: debido a cuestiones de confidencialidad, los datos monetarios empleados se convirtieron en porcentajes.*

Los resultados de cada uno de los casos se muestran en los cuadros siguientes, acompañados de un comentario general y explicativo (29).

#### Caso 1

Medida	Unidad	No BIM	BIM	Variación (BIM vs no BIM)
<i>RFIs</i>	Cantidad / pieza	6	3	3
<i>Órdenes de modificación</i>	% del coste proyecto previsto	12%	7%	42%
<i>Planning</i>	% por detrás planning previsto	15%	5%	67%

*Tabla 4. Resultados Caso 1. Fuente: How to measure the benefits of BIM – A case of study approach, Kristen Barlish, Kenneth Sullivan, Arizona State University, United States, 17 february 2012.*

Los resultados que se muestran en la Tabla 4 precedente dejan constancia de la mejora diferencial en proyectos desarrollados con BIM.

#### Caso 2

Medida	Unidad	Diferencial (No BIM vs. BIM)
<i>Coste diseño</i>		
<i>Coste Arquitectura e Ingeniería</i>	% del total asignado diseño	31%
<i>Coste creación modelo 3D antecedente</i>	% del total asignado diseño	34%
<i>Coste construcción</i>		
<i>Coste contratista</i>	% del total asignado construcción	(-5%) (ahorro)
<i>Coste diseño + construcción</i>		
<i>Ahorros generales con BIM en el diseño y construcción</i>	% del total asignado diseño y construcción	(-2%) (ahorro)

*Tabla 5. Resultados Caso 2. Fuente: How to measure the benefits of BIM – A case of study approach, Kristen Barlish, Kenneth Sullivan, Arizona State University, United States, 17 february 2012.*

A partir de la información contenida en los datos de la Tabla 5 se puede observar que el diseño BIM provoca un incremento de costes, mientras que se llega a un ahorro de costes gracias al empleo del BIM en la fase de construcción. La solicitud de información a los contratistas consistía en las peticiones de ofertas en dos diferentes formatos. Por un lado, se les pidió el coste total previsto del alcance de los trabajos a realizar en cuestiones de instalaciones eléctricas, mecánicas y de fontanería en el caso de realizar el proyecto bajo el sistema tradicional. Por otro lado, se solicitó el coste de cada uno de los ámbitos de actuación mencionados anteriormente desarrollando el proyecto bajo metodología BIM. Una vez comparadas las ofertas de los trabajos desarrollados en No BIM de cada una de las áreas funcionales con las ofertas BIM de las mismas tareas a realizar, demuestran que el contratista hubiera proporcionado al propietario un ahorro del 5% gracias a la utilización del BIM.

### Caso 3

Medida	Unidad	No BIM	BIM	Variación (No BIM vs. BIM)
RFIs	Cantidad / pieza	2	3	-1
Órdenes de modificación	% del coste proyecto previsto	23%	7%	70%
Plannning	% por detrás planning previsto	15%	7%	53%

Tabla 6. Resultados Caso. Fuente: *How to measure the benefits of BIM – A case of study approach*, Kristen Barlish, Kenneth Sullivan, Arizona State University, United States, 17 february 2012.

En el caso 3, al tratarse únicamente de una de las áreas funcionales del proyecto (no relevada por la empresa) permitió realizar una comparación precisa entre las diferentes maneras de llevar a cabo el proyecto. La empresa obtuvo ahorro en los costes y beneficios como recompensa al esfuerzo en la utilización en todo el proceso completo de metodología BIM.

A más a más, el equipo encargado del estudio en cuestión llevó a cabo distintas entrevistas y encuestas a profesionales dedicados al *Project Management* y otros coordinadores técnicos con el objetivo de proporcionar una percepción individual y evaluar las experiencias y el ambiente general de los trabajos llevados bajo metodología BIM en las actuaciones ejecutadas en la empresa. Mencionar que la información obtenida a partir de las mismas entrevistas no fue empleada para medir los beneficios del BIM, sino únicamente como información contextual. Se les preguntó si el uso del BIM daba lugar a un incremento, decrecimiento o era invariable en los siguientes puntos: responsabilidad, verificación, costes hardware/software, curva de aprendizaje y coordinación asistencia de reuniones.

En la tabla siguiente queda reflejada la opinión de los *Project Managers* entrevistados durante el estudio (29):

Categoría	Incremento	Decrecimiento	Invariable
Responsabilidad del contratista	38%	62%	-
Verificación del contratista	50%	50%	-
Coste hardwares / softwares	50%	50%	-
Curva de aprendizaje	38%	24%	38%
Coordinación asistencia reuniones	100%	-	-

Tabla 7. Resultados encuestas Project Managers. Fuente: *How to measure the benefits of BIM – A case of study approach*, Kristen Barlish, Kenneth Sullivan, Arizona State University, United States, 17 february 2012.

A partir de las expresiones de los *Project Managers* se puede afirmar que el uso del BIM incrementa la asistencia por parte de contratista en las reuniones de coordinación, así como también implica una disminución de la responsabilidad asumida por el contratista.

El estudio también da a conocer otros puntos positivos observados por los *Project Managers*, tales como la disminución de plantilla en obra, que en consecuencia, altera la seguridad y los costes de la obra.

Como limitaciones más importantes a tener en cuenta, destacar que los casos de estudio presentados están basados desde la perspectiva del cliente y tiene menos visibilidad sobre otras terceras partes, tales como el contratista o el proyectista. Adicionalmente, cabe mencionar que parte de la información empleada corresponde a proyectos históricos, por lo que hubiese sido más adecuado tomar medidas durante la misma ejecución de las obras. La situación ideal para la elaboración de esta metodología como medida de beneficios hubiese sido el empleo de casos de estudio desarrollados tanto por el sistema tradicional como metodología BIM, con un mismo promotor y mismo contratista, lo que hubiese supuesto una visión similar de los proyectos, donde los hallazgos fuesen compartidos entre los diferentes agentes, proporcionando consistencia y uniformidad al estudio (29).

Finalmente, como conclusiones del estudio realizado a partir de la metodología de cálculo y con resultados obtenidos de los tres casos de estudio se presenta una evaluación válida para la utilización del BIM. El éxito del BIM depende de muchos factores, tales como la magnitud del proyecto, habilidades BIM de los miembros de equipo, comunicación del equipo de trabajo, así como también otros factores externos de comunicación.

Para el estudio de si el BIM tiene beneficio o no sobre un proyecto, este estudio presenta una metodología y guía adecuada. Las medidas escogidas en el estudio representan un punto de partida para cualquier agente que pretenda iniciar un análisis. Puede considerar que la metodología desarrollada en el estudio es consistente, siempre y cuando se trabaje en un ambiente estable. Sin embargo, existen otras variables en distintas organizaciones o proyectos que son externas al sistema definido en los casos y que deben ser analizadas si se pretende emplear el esquema de la metodología propuesto. Es importante para la validez del estudio, que se tenga en cuenta que todas las perspectivas sean representadas en las medidas, desde contratistas, proyectistas y promotores (29).

## 3. PROJECT MANAGEMENT DE PROYECTOS REALIZADOS CON METODOLOGÍA BIM

### 3.1 Implantación BIM en organizaciones

La decisión de incorporar sistemas BIM en una empresa o en cualquier otro tipo de organización debe de ser planteada y tomada con seriedad. Supone un cambio en la metodología de trabajo, una implantación que inicialmente puede ser costosa y poco productiva. Es por ello que los profesionales de una misma identidad deben caminar hacia el mismo objetivo, siempre bajo un Plan estratégico de empresa, en el cual se definan los recursos necesarios para su correcta implantación, como también puntos de control para asegurarse que se va en buen camino. Pero no es únicamente una decisión tomada unilateralmente por las personas encargadas de la dirección de una empresa, sino que los trabajadores también deben de apoyar e involucrarse para una correcta implantación.

Dicha decisión debe estar respaldada por el convencimiento de que la nueva metodología supondrá a medio y largo plazo beneficios considerables, obteniendo trabajos de mayor calidad. En puntos anteriores hemos citado y explicado cuáles son los principales beneficios y ventajas que ofrece el BIM, como también algunas sus limitaciones. De entre ellas, destacar el incremento de productividad de redacción de proyectos, así como también una optimización de los plazos de ejecución, elaboración de estimaciones y presupuestos más precisos. Respecto a las relaciones entre los diferentes agentes, se fomenta el trabajo colaborativo, facilitando la coordinación de información y documentación.

Para implantar el BIM de una forma efectiva y coherente en cualquier empresa, es imprescindible contar con el asesoramiento de un experto en metodología BIM, llamados *BIM Managers* o consultores BIM. Cada empresa está especializada en trabajos específicos, los cuáles pueden desarrollarse con sistemas BIM, pero deben ser identificadas previamente cuáles de las herramientas y métodos de trabajo son los más adecuados para dicha empresa. La implantación de metodología BIM no es una tarea fácil ni rápida, la cual si se enfrenta a ella de manera independiente y autodidáctica puede finalmente salir cara.

Podemos definir una serie de pasos adecuados y coherentes para la implantación del BIM en una empresa a través de los siguientes puntos expuestos (31):

#### *i. Análisis de la Organización*

Primero de todo es necesario realizar un análisis y estudio detallado de las tareas y trabajos que realiza la empresa. Revisar y entender cuáles son los proyectos más habituales solicitados por los clientes y, también, qué relación mantienen con los posibles colaboradores externos. Todo ello debe de ser analizado dentro del flujo convencional de trabajo, coherente con el desarrollo de la información.

*ii. Retorno de la Inversión o Return On Investment (ROI)*

Toda empresa valora económicamente qué repercusiones implica la realización de una inversión, para finalmente poder estimar una rentabilidad y valorar la conveniencia o no de una inversión. Es por ello que resulta imprescindible una evaluación de costes incurridos, tanto de costes fijos (softwares) como variables (consultorías, cursos de formación). Por otro lado, también se debe estimar cuáles serán los beneficios que obtendrá la empresa, desde mejoras de productividad, incremento del valor de los trabajos ofrecidos y otros.

*iii. Diagnóstico y propuesta de implantación BIM*

Una vez estudiada la organización y sus trabajos más habituales, se pretende definir el perfil de actividad de la empresa y se inicia la búsqueda de sistemas adecuados para el desarrollo de sus tareas. Se plantea también cómo la organización va a asumir estos cambios, mediante la incorporación de profesionales ya conocedores del sistema BIM o con la introducción de un equipo experto. La empresa debe ser consciente que la implantación es una transformación progresiva, en la cual existe un intercambio de información entre los agentes del *know-how* acompañada de una evolución de los equipos tecnológicos.

*iv. Perfiles BIM del equipo y Cultura Colaborativa. Plan de Formación.*

Una de las etapas más importantes y críticas de la implantación es el reparto de competencias. Los trabajadores deberán asumir nuevas responsabilidades y cargos que posiblemente anteriormente no existían, como también dominar ciertas herramientas de representación y explotación de datos. Cada perfil deseado debe ser acompañado de una formación y asesoramiento específico, como también de la implantación de los equipos y soportes. Puede ayudar a implantación de herramientas BIM la creación y seguimiento de un calendario formativo, donde queden reflejados los principales hitos de la implantación.

*v. Libro de Estilo y Estándares de la Organización*

Ya en una etapa más avanzada, la empresa deberá destinar recursos y tiempo a la creación de sus propias bases de datos y bibliotecas BIM, para una mejora de la eficiencia de los proyectos. Deberán también definirse los criterios de calidad de la propia organización como también el nuevo flujo de información y presentación de la documentación.

*vi. Control y Soporte de la Gestión del BIM*

Pero la implantación no finaliza con el aprendizaje y desarrollo de las herramientas BIM, sino que debe de haber una supervisión constante de actualizaciones tanto de software y hardware, para evitar así la obsolescencia de los métodos de trabajo.

El éxito de la implantación de sistemas BIM en una organización supondrá obtener una ventaja comparativa frente a otros equipos de trabajo, así como también la obertura de nuevos proyectos al poder participar en concursos y licitaciones que tengan como requerimiento el uso del BIM. Sin embargo, no se debe olvidar que aquí en un futuro próximo, puede resultar obligatorio el uso de herramientas BIM, tanto para el diseño, construcción y gestión del proyecto; por lo que el hecho de no acercarse a las nuevas tecnologías y metodologías puede dejar a una organización fuera del mercado.

### 3.2 Organización inicial

El inicio de un proyecto bajo sistemas BIM requiere una definición detallada y concisa de la organización y distribución tanto de tareas como de responsabilidades. La contratación de un equipo de *Project Management* para la gestión integrada de un proyecto o únicamente de alguna de las fases del mismo implica una previa definición de los trabajos a realizar por el mismo equipo.

En una primera instancia, se elaborará con la propiedad el Esquema general de gestión de proyecto (32). Según lo establecido en la oferta y en el contrato de los trabajos ofrecidos por el *Project Management*, se detallará la relación de procedimientos y registros de proyecto. Esta etapa corresponde a describir cómo se llevará a cabo la gestión de cada una de las fases del proyecto, desde la misma concepción hasta la elaboración del As Built, y en qué documentos quedará recogido el seguimiento del mismo.

En el caso estudiado en este trabajo de estudio, el deseo de realizar el proyecto bajo metodología BIM implicará una definición y relación de objetivos globales del BIM. En la etapa de establecimiento del esquema general de gestión, se elabora uno de los documentos con más importancia del proyecto: *BIM Project Execution Plan (PxP) Starting Point* (ver Anexo 1) (33). Éste es un documento que se va complementando a medida que avanza la organización inicial del proyecto, al mismo tiempo que se van definiendo los distintos equipos de trabajo que participarán en el diseño y ejecución de las obras. Es un documento que establece un punto de partida para la redacción del proyecto. En el mismo quedará identificado aquello que ya haya sido previamente definido, dejando abierto aquello que no lo esté para que sea desarrollado por el equipo de redacción de proyecto y el de construcción.

Los primeros documentos a incorporar al *BIM PxP starting Point* será la asignación de usos del BIM a los objetivos globales. Se elaborará una matriz de objetivos y usos del BIM, donde quedará identificado el objetivo, en qué usos del BIM queda implicado y en qué fases de proyecto debe prestarse atención. Se muestra un ejemplo en la *Tabla 2. Matriz de objetivos BIM* del modelo *BIM PxP* adjuntado en el Anexo 1.

Es de gran utilidad recabar la información contenida en los objetivos globales y usos del BIM en una matriz de únicamente de Usos del BIM, donde quede reflejado en qué fases del proyecto actual está involucrado cada uso del BIM. Paralelamente, se recomienda redactar la descripción de los usos del BIM, evitando en todo momento el solapamiento de actividades y duplicaciones de trabajos.



Más adelante se deberán enumerar las actividades vinculadas con los usos del BIM, tales como la matriz de responsabilidad sobre los usos como también la descripción detallada de las mismas actividades. Se muestran ejemplos en la *Tabla 4. Descripción de Usos BIM* y en la *Tabla 5. Matriz de responsabilidad sobre los Usos del modelo BIM PxP* adjuntado en el Anexo 1.

Ya por último, dentro del esquema general de gestión de proyecto, se enumerarán los entregables derivados de los usos del BIM. Se muestra un ejemplo en la *Tabla 7. Matriz de entregables de los Usos del BIM del modelo BIM PxP* adjuntado en el Anexo 1.

Seguidamente, una vez definidos los objetivos globales del BIM en el proyecto y los usos BIM del mismo, se lleva a cabo la organización del equipo humano encargado de la gestión como también de las comunicaciones previstas entre los diferentes agentes implicados. Según la definición del sistema contractual y de su contenido, se deberá identificar y numerar los diversos roles necesarios según el alcance y escala del proyecto. En una etapa tan primeriza del proyecto es posible que no sea posible identificar todos y cada uno de los puestos que finalmente incurran en la gestión del proyecto.

Poco a poco se irán añadiendo nuevos documentos al *BIM PxP Starting Point*, tales como la propuesta de organigrama del proyecto (*Figura 1 Organigrama del Proyecto del modelo BIM PxP del Anexo 1*) y la descripción de las responsabilidades de cada uno de los roles implicados (*Tabla 8 Descripción de las responsabilidades de los roles del modelo BIM PxP del Anexo 1*). En el primero de ellos se dejará constancia de los agentes necesarios para el buen desarrollo del proyecto, así como también las posibles relaciones entre ellos. En cambio, en el segundo documento se buscará definir con detalle y coherencia cuáles son las tareas y responsabilidades que asume cada agente, desde el *BIM Manager* hasta el delineante.

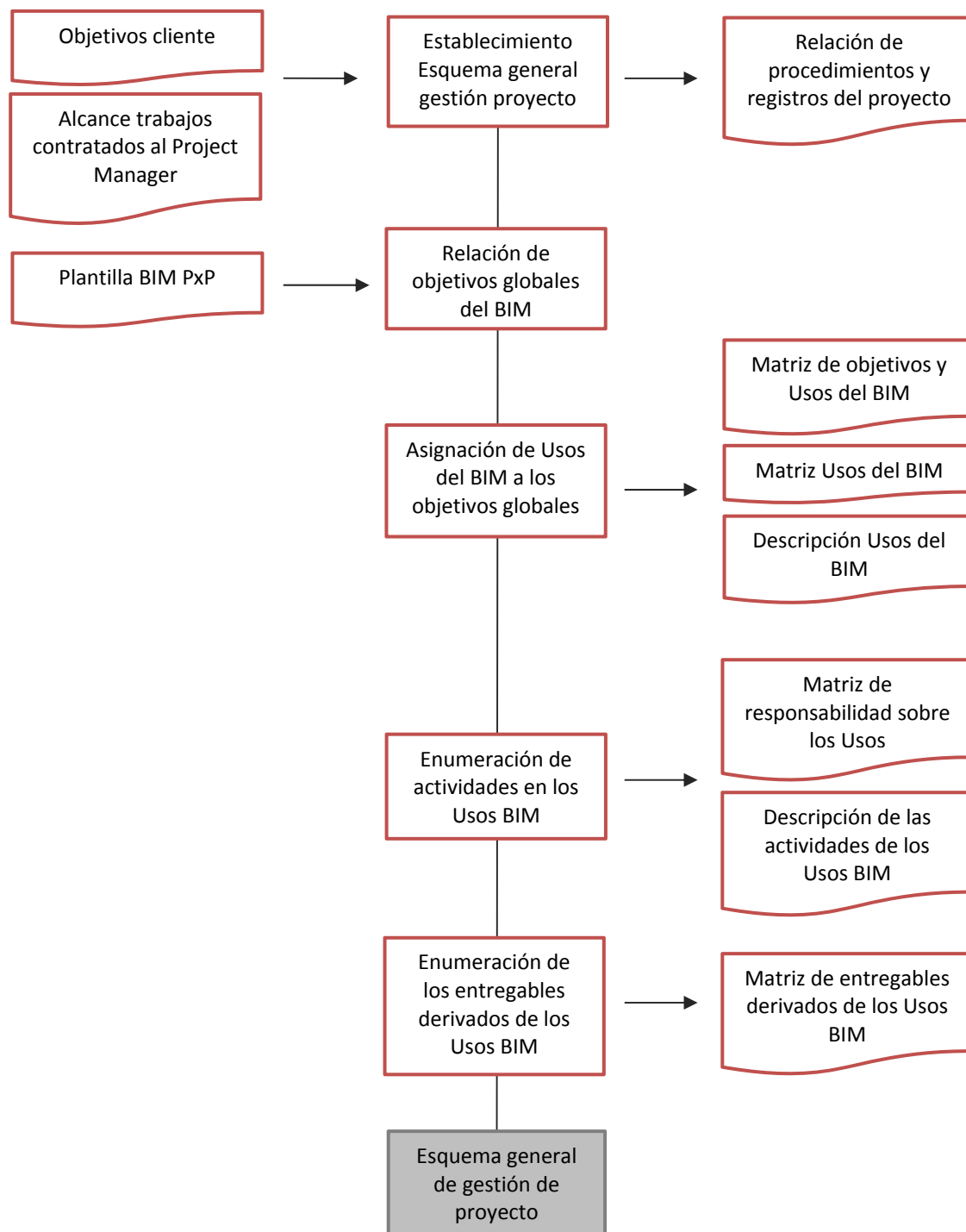


Figura 23. Flujograma elaboración esquema general de gestión de proyecto. Fuente: elaboración propia.

Una vez establecido entre la Propiedad y el equipo de *Project Managers* el Esquema general de gestión de proyecto, será pues el *Project Manager* quien presentará una planificación inicial del proyecto, que responda a las necesidades y requerimientos del cliente, respetando los plazos mínimos de ejecución de obras similares. Se obtendrá un planning general e inicial con los hitos principales del proyecto que conjuntamente con los objetivos globales, permitirán la elaboración de la Matriz de priorización de toma de decisiones. En el presente documento quedarán identificadas las decisiones previstas a tomar, acompañadas del uso del BIM a las cuales pertenece, de las

actividades y subactividades relacionadas con el uso y del responsable (*Tabla 9 Matriz de priorización de la toma de decisiones* del modelo BIM PxP adjunto en el Anexo 1).

El control económico y presupuestario de un proyecto es uno de los pilares de las responsabilidades que asume el *Project Manager*. De él depende la elaboración de estimaciones económicas como también del control de certificaciones durante la ejecución de la obra. Se deberá clarificar y escoger una codificación de *Work Break down Structure* para el seguimiento de la obra (estructura capítulos, composición partidas...), es decir, se especificará tanto el formato del presupuesto, composición de las partidas, códigos empleados, vinculación con posibles bases de datos de precios, posterior extracción de mediciones con softwares especializados y otros puntos (*Figura 2 Work Break down Structure* del modelo BIM PxP incorporado en el Anexo 1).

También se acompañará al *BIM PxP Starting Point* de la definición y el establecimiento del sistema de clasificación estándar de los elementos modelados y sobre la propia taxonomía. Deberá escogerse un sistema de clasificación estándar, que en el caso de no tener ninguna preferencia se recomendará usar la codificación *Unifomat 2010* o la *Uniclass 2015*.

Ambas son clasificaciones estándar de especificaciones de elementos constructivos, estimaciones de coste y análisis de costes. *UniFormat* (34) se estableció en los Estados Unidos y Canadá, mientras que la *Uniclass 2015* tiene origen inglés (35). El empleo de dichas especificaciones de clasificación garantiza la consistencia del modelo y evitar en fases avanzadas del proyecto problemas de detección y definición de elementos del modelo.

A B C D E F G H									
En Entities - 24 March 2016 - v1.0									
Code	Group	Sub group	Section	Object	Title	NBS Code	NRM		
En_20	20				Administrative, commercial and protective service entities				
En_20_10	20	10			Legislative entities				
En_20_10_45	20	10	45		Governmental buildings				
En_20_15	20	15			Administrative office entities				
En_20_15_10	20	15	10		Multiple occupation office buildings				
En_20_15_70	20	15	70		Single occupation office buildings				
En_20_20	20	20			Secular representative entities				
En_20_20_10	20	20	10		Buildings for representatives of nation states abroad				
En_20_20_40	20	20	40		Local government buildings				
En_20_20_50	20	20	50		National government buildings				
En_20_20_70	20	20	70		Regional government buildings				
En_20_45	20	45			Motor vehicle maintenance and fuelling entities				
En_20_45_50	20	45	50		Motor vehicle fuelling and charging entities				
En_20_45_54	20	45	54		Motor vehicle servicing and repair entities				
En_20_50	20	50			Commercial entities				
En_20_50_05	20	50	05		Auction buildings				
En_20_50_22	20	50	22		Department stores				
En_20_50_29	20	50	29		Financial and professional services buildings				
En_20_50_50	20	50	50		Markets				
En_20_50_55	20	50	55		Motor vehicle sales entities				
En_20_50_80	20	50	80		Shop units				
En_20_50_85	20	50	85		Supermarkets				
En_20_50_97	20	50	97		Wholesale buildings				
En_20_55	20	55			Postal communications entities				
En_20_55_65	20	55	65		Post office buildings				
En_20_55_80	20	55	80		Sorting office buildings				
En_20_60	20	60			Military entities				
En_20_60_02	20	60	02		Air force buildings				

Figura 24. Tabla codificación Uniclass 2015, Entidades . Fuente: <https://toolkit.thenbs.com/>

Es muy importante para la compatibilidad y para garantizar el trabajo colaborativo la elección de un sistema de taxonomía tanto para elementos, tipos y capas. Para el buen desarrollo del proyecto se recomienda ofrecer un criterio para que los equipos de redacción de proyecto desarrollen la suya. Se elaborarán tablas de taxonomía, donde quedarán reflejados ciertas características de los elementos (nomenclatura, localización modelo...), que se muestra como ejemplo en la *Tabla 11 Tabla de taxonomía de elementos, Tipos y Capas* del modelo BIM PxP adjuntado en el Anexo 1.

En el capítulo anterior se ha explicado y definido qué son los diferentes niveles de desarrollo o *Level of Detail*, los cuales deben adaptarse a la fase del proyecto en la que se encuentra y a los requerimientos del cliente. Es por ello que se buscará recopilar las necesidades iniciales de la información que quedará posteriormente contenida en el modelo. Se pretende establecer qué debe ser modelado y a qué nivel de definición, siendo posible establecer un nivel genérico en cada fase como punto de partida.

Por otro lado, la recopilación de necesidades iniciales de niveles de definición del modelo quedará recogida en las tablas de responsabilidad sobre el LOD, ver *Tabla 13. Tablas de responsabilidad sobre Levels Of Detail (LODs)* del Anexo 1. Recogerá las necesidades iniciales de formatos de representación, es decir, se establecerá que debe ser representado en 3D, 2D o directamente como dato. Vendrá acompañado por la descripción de los responsables del desarrollo de cada elemento. La clasificación de las tablas dependerá del *BIM Manager* o en el caso de ser indiferente, se podrá emplear el sistema de LODs de *BIM Forum* o el del *NBS BIM Toolkit* (33).

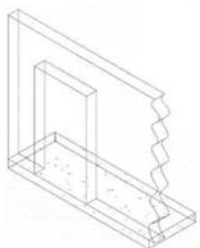
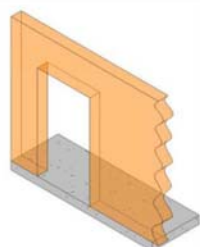
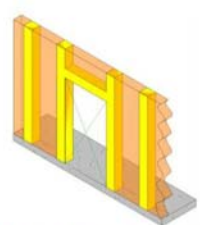
B1010.10 – Floor Structural Frame (Masonry Framing)		
100	See B10	
200	See B10	 <p>34 B1010.10-LOD-200 Floor Structural Frame (Masonry Framing)</p>
300	<p>Element modeling to include:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• floor element with design-specified locations and geometries</li> </ul> <p>Required non-graphic information associated with model elements includes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Member size, depth, and material with sloping geometry</li> <li>• Spacing and end elevations</li> <li>• Design loads</li> <li>• Deflection criteria</li> </ul>	 <p>35 B1010.10-LOD-300 Floor Structural Frame (Masonry Framing)</p>
350	<p>Element modeling to include:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Members modeled at any interface with wall edges (top, bottom, sides) or opening through wall</li> <li>• Any regions that would impact coordination with other systems such as but not limited to: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Bond Beam &amp; Lintel Regions</li> <li>○ Reinforcing &amp; Embed Regions</li> <li>○ Jam Regions</li> </ul> </li> </ul>	 <p>36 B1010.10-LOD-350 Floor Structural Frame (Masonry Framing)</p>

Figura 25. Ejemplo definición LODs de BIM Forum . Fuente: Level of Development Specification, version 2015, BIM Forum.

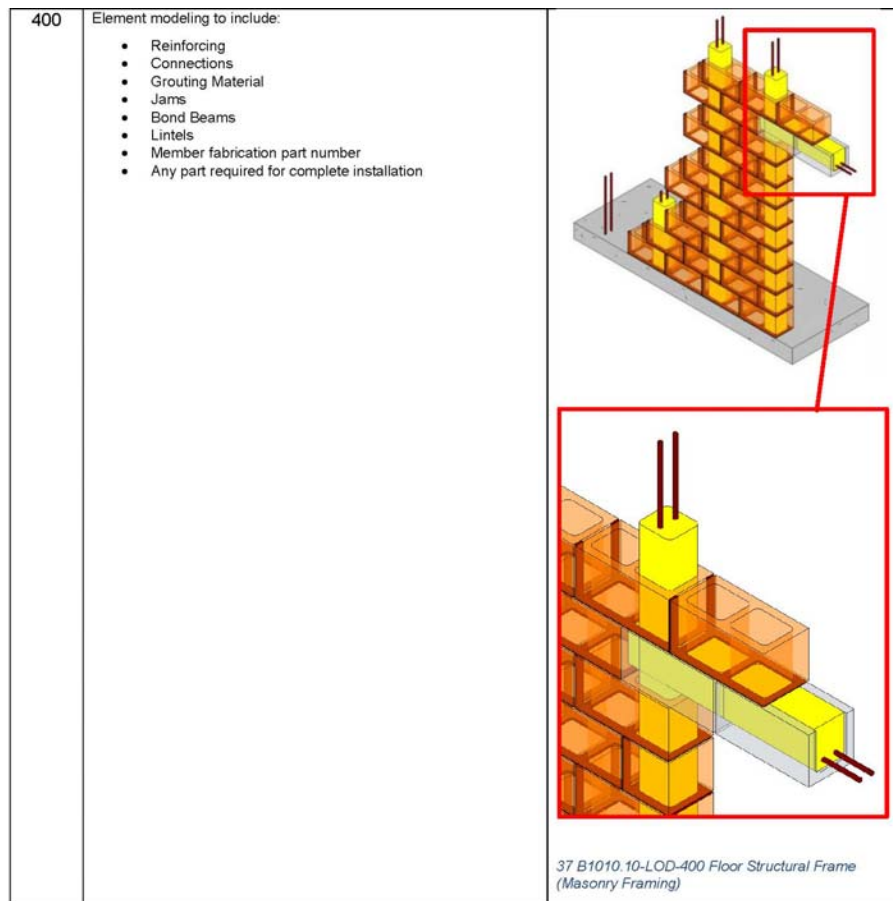


Figura 26. Ejemplo definición LODs de BIM Forum . Fuente: Level of Development Specification, version 2015, BIM Forum.

Recabando los puntos mencionados anteriormente como parte del *BIM PxP Starting Point* tendremos los siguientes (32) (33):

- Matriz de Objetivos y usos del BIM
- Matriz de usos del BIM
- Descripción de usos del BIM
- Matriz de responsabilidad sobre los usos
- Descripción de las actividades de los Usos del BIM
- Matriz de entregables derivados de los Usos del BIM
- Organigrama del proyecto
- Descripción de las responsabilidades de los roles
- Matriz de priorización de toma de decisiones
- Work Break down Structure
- Descripción de las mediciones prioritarias a obtener
- Tablas de responsabilidad sobre el LOD.

Una vez recogida toda la información necesaria para el inicio de las etapas de contratación del equipo de diseño del proyecto, el *Project Manager* redactará un informe inicial, del cual tendrá especial importancia la identificación y descripción de los objetivos del proyecto.

Del mismo modo, una vez redactado el *BIM PxP Starting Point*, el *Project Manager* se lo presentará al cliente para que lo revise y dé su aprobación o pautas a corregir según sea necesario. En caso de no llevarse a cabo la aprobación del documento, se actualizará el mismo hasta que sea de agrado del cliente.

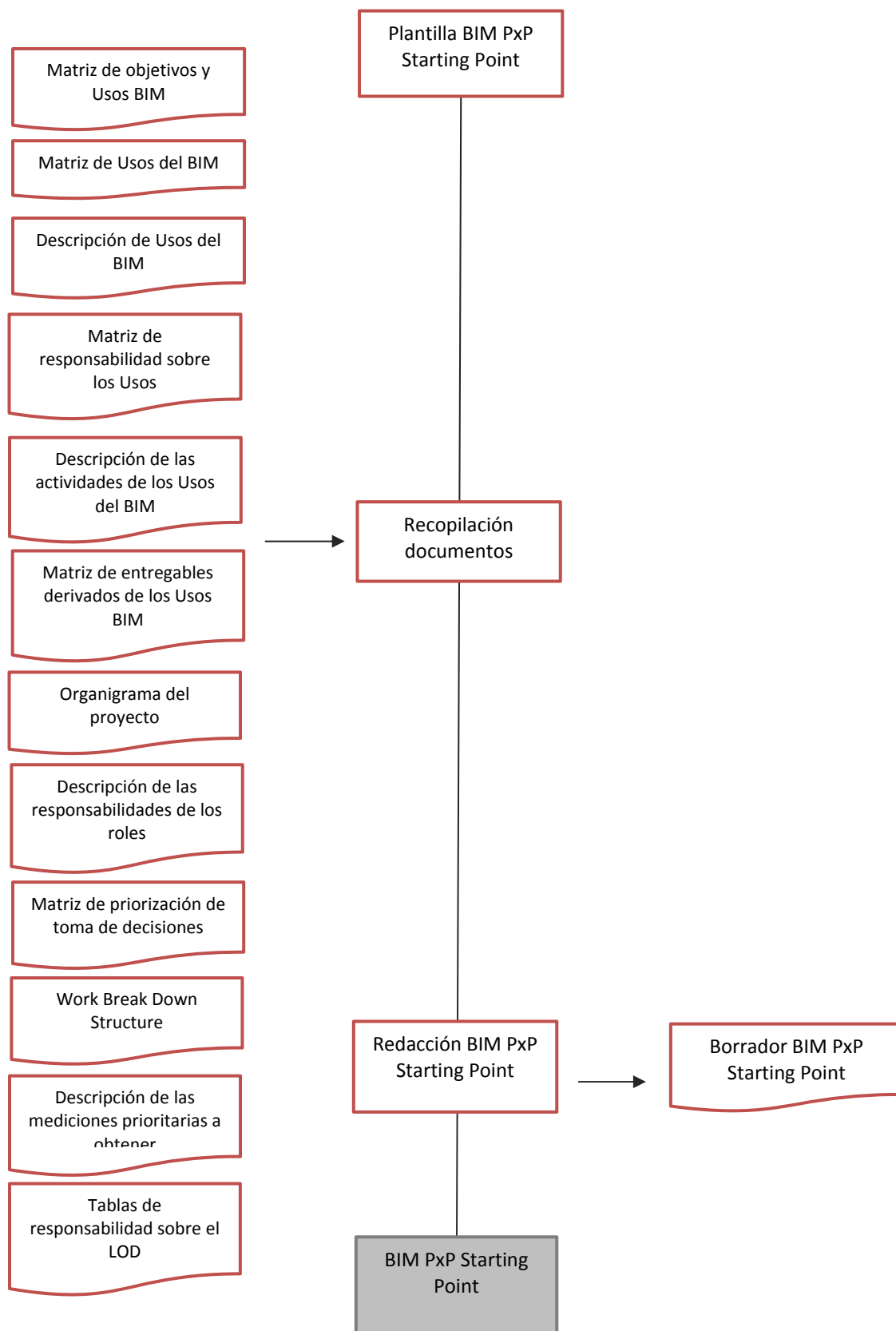


Figura 27. Flujograma elaboración BIM PxP Starting Point. Fuente: elaboración propia.

### 3.3 Fase de diseño

La figura del *Project Manager* surge como respuesta a la necesidad transmitir una idea o proyecto a las personas capacitadas para poderlo llevar a cabo, de manera que no se pierda información en el camino y que se busque el interés de la propiedad en todo momento. Cuando una persona u organización reclama los servicios de un *Project Manager*, deben ambos definir qué estrategia de proyecto se va a llevar a cabo para la consecución de los objetivos puestos por el cliente.

De manera que facilite la comprensión y la coherencia entre las distintas fases en las que actúa el *Project Manager*, a continuación se explica lo que viene a ser la dirección del proyecto, desde la contratación del *Project Manager*, hasta la finalización de las obras y trabajos solicitados. En los puntos siguientes, se explicará con mucho más detalle el procedimiento de actuación en ámbitos y fases del proyecto más definidos y particulares.

En un proceso general de *Construction Management*, el mismo vendrá iniciado por una serie de reuniones y comunicaciones en las cuales se explicará el proyecto y qué tareas y responsabilidades tomará el *Project Manager*. Conjuntamente se pactará una estrategia de proyecto, procedimiento descrito anteriormente; definiendo aquellos procedimientos y registros que sean más acorde a las características del proyecto, su alcance y trabajos pedidos a llevar a cabo. Se realizará también una desagregación de lotes e intervinientes y, una vez identificados, se planteará un nivel básico en temas de planificación temporal y planificación económica. Deberá quedar perfectamente recogido y detallado en el contrato.

Usualmente, la primera tarea con la cual se enfrenta el *Project Manager* es la redacción de un informe inicial. Podemos tomar como referencia la siguiente estructura para la elaboración del informe (32):

- *Configuración física y datos del Proyecto.* En esta apartado se hará una breve introducción del proyecto tratado, incluyendo localización, tipo de obra, superficie solar, superficie construida prevista, costes estimativos y otra información que estuviese disponible.
- *Esquema general de gestión del Proyecto.* Se definirán los trabajos previstos a realizar por el *Project Manager* y el alcance de los mismos.
- *Organización del equipo humano y comunicación.* Se presentará el equipo propuesto para la realización de tareas y seguimiento del proyecto, identificando en cada caso los roles de los mismos: Director de Proyecto, *Client Manager*, Responsable de Proyecto, Especialista en estructuras, *BIM Manager*...
- *Objetivos del Proyecto.* Quedarán definidos tanto los objetivos globales del proyecto como también los plazos de tiempo previstos y costes estimativos de la inversión.
- *Listado de procedimientos y registros de aplicación al proyecto.* En este punto se detallarán cuáles serán los documentos empleados e incluso su formato para garantizar la comunicación tanto con el cliente como con el resto de agentes del proyecto (proyectistas, modeladores BIM, constructores...).
- Se incluirá el *BIM Project Executive Plant Starting Point*.
- *Anexos.* Tales como estudios técnicos previamente realizados, documentación del anteproyecto, tramitaciones con administraciones, garantías de suministro de servicios...

Previo a la contratación de los equipos técnicos se llevará a cabo una planificación detallada de la misma, respetando los objetivos temporales marcados en el planning general. Como propuesta del procedimiento a seguir, se iniciará con la descripción detallada de las funciones a desarrollar por cada equipo técnico, dejando constancia si fuese necesario de las pautas y requerimientos en un pliego de bases para la contratación de equipos técnicos, incluyendo el *BIM PxP (Project Executive Plan) Starting Point*. Se presentará una propuesta de concursantes al cliente, presentando también al mismo tiempo información suficiente para analizar su perfil y experiencia. Se pedirán ofertas a los equipos presentados y aprobados por el cliente, que serán posteriormente estudiadas y valoradas. El Director de proyecto, como responsable del equipo de *Project Manager*, propondrá al equipo técnico que crea óptimo para la redacción y dirección de las obras.

Durante la vida del Proyecto, comprendiendo las fases de diseño y construcción se pondrán en práctica reuniones de seguimiento, con el fin de seguir el desarrollo del proyecto. Para la buena ejecución de las mismas se atenderá a las siguientes pautas (32):

- Se ajustará la cadencia de las reuniones al ritmo de trabajo necesario.
- Se velará por la asistencia de todo el equipo de proyecto.
- Para facilitar la preparación de la reunión, se buscará hacer llegar con anterioridad el orden del día de la reunión a los agentes participantes.
- El *Project Manager* deberá dirigir el desarrollo de la reunión, a la vez que garantizar que se tratan todos los temas previstos.
- Elaborará las actas tanto de seguimiento del diseño y redacción del proyecto como también del seguimiento de las obras, haciendo referencia a todos aquellos aspectos BIM tratados en las reuniones de coordinación BIM.

Al mismo tiempo, será pues necesaria una actualización de los documentos empleados para el seguimiento de las obras, tales como la Hoja de control económico y Planning general, documentos explicados apartados siguientes. Además de las reuniones de seguimiento, las tareas de coordinación general de Proyecto precisarán de una continuidad temporal, llevada a cabo mediante reuniones espontáneas o periódicas con diversos miembros del equipo de Proyecto.



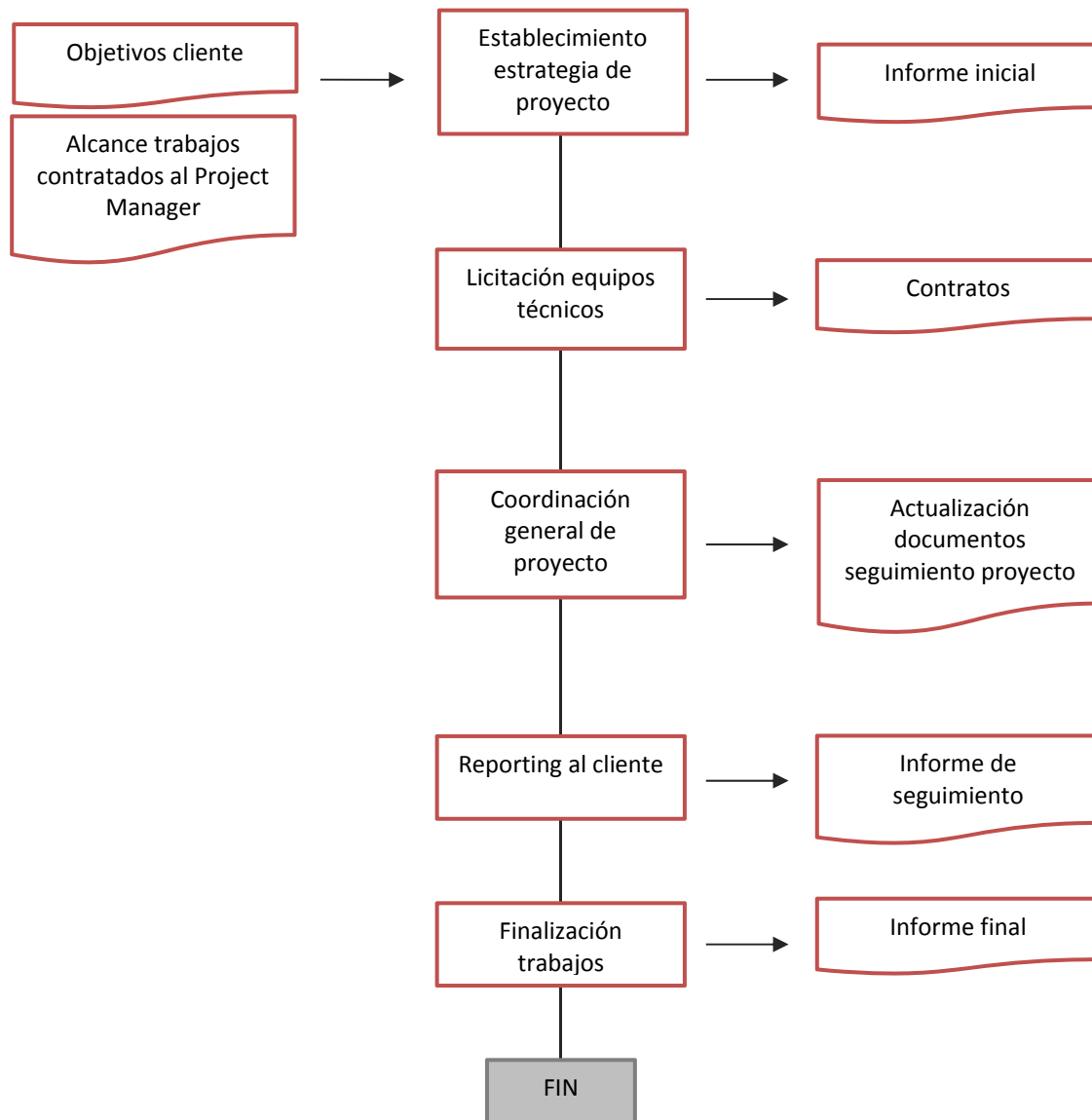


Figura 28. Flujograma dirección de proyecto. Fuente: Elaboración propia.

Mediante las reuniones de coordinación general con el Cliente o con envío de diferentes actas, se persigue informarle del desarrollo de los proyectos técnicos y de la ejecución de la obra.

Por un lado, se podrá emitir mensualmente un Informe Mensual, en el caso que fuese pactado, que informará del Seguimiento de los Objetivos del Proyecto, detallando la situación en la Planificación y en el Control Económico, información contenida en las sucesivas Actas de Seguimiento de Diseño o Construcción y los posibles contratiempos u órdenes de modificación propuestos. Se incluirá también en el mismo, las hojas resumen de las estimaciones económicas, el planning a seguir y, si fuese de especial interés, fotografías que muestren el avance del proyecto.

Por otro lado, se realizarán paralelamente reuniones de Coordinación con el Cliente que servirán para tomar estado del desarrollo de proyecto y comentar cualquier punto en referencia al contenido del Informe de seguimiento.

Al final del Proyecto se emitirá un informe para el Cliente que resumirá la coordinación durante todo el Proyecto e informará del cumplimiento de los objetivos mismos. Dentro del informe Final de Proyecto se contemplará los siguientes aspectos (32):

- Coste Liquidación Obra.
- Control de Certificaciones y Curva de Certificación.
- Planning final actualizado.
- Análisis de cumplimiento de objetivos y desviaciones de Costes.
- Gestiones y trabajos pendientes.
- Reportaje fotográfico.
- Listado de documentación final de Obra

Resulta de especial interés llevar a cabo un *Lesson Learned*, en castellano Lecciones Aprendidas, de los trabajos realizados en el proyecto, que consiste en recabar aquellos puntos característicos surgidos durante el proyecto y que son de interés para el conocimiento del equipo técnico de la empresa. Se extraerán aquellas cuestiones técnicas o de gestión que se estimen relevantes para la gestión de futuros proyectos de la empresa, como también se conservarán los modelos documentales que sean de interés y pueden ser empleados en el futuro, tales como contratos, pliegos y otros. Éstos se guardarán en el Libro de modelos de Proyectos.

Se conservarán también todas aquellas soluciones técnicas particulares que hayan podido tener lugar, así como también algunas de las soluciones llevadas a cabo para la gestión de riesgos y otros.

Hasta este punto del apartado, se ha hecho referencia a las tareas que lleva a cabo el *Project Manager* en relación con la propiedad y su comunicación. Sin embargo, la gestión del diseño de un proyecto conlleva a la supervisión y toma de decisiones de forma continua por parte del equipo de *Project Managers*. A continuación pues, se detallan las actividades y procedimientos que tiene lugar en la fase de diseño de un proyecto llevado a cabo bajo metodología BIM

La contratación del equipo de Proyecto se inicia con la revisión y ratificación de las denominadas Bases de Proyecto. Las Bases de Proyecto vienen a ser los objetivos y otras especificaciones técnico funcionales del proyecto deseados por el cliente, ya sea nivel de acabados, distribución, cumplimiento de ciertos certificaciones sostenibles... Del mismo modo se recabará toda aquella documentación ya existente referente al proyecto, tales como el informe inicial, informes de viabilidad, documentos técnico (estudios geotécnicos, hidrológicos, levantamientos topográficos u otros). También se recogerá el *BIM PxP* redactado en fases anteriores del proyecto (32) (33).

Con el conjunto de toda esta información y documentación, el cliente y el *Project Manager* se reunirán para revisar y validarla y así iniciar el proceso de contratación del equipo de diseño.

La contratación del equipo de diseño puede llevarse a cabo mediante la elección directa por parte del cliente o a través de una licitación. En pliego de bases de la licitación se detallará toda la información relativa al proyecto y qué alcance tiene la metodología BIM. Es indicado que los posibles adjudicatarios de la definición del proyecto examinen con detalle la información contenida en el *BIM PxP*.

Con la adjudicación del proyecto, se firmarán los pliegos y contratos vinculados, donde se hará referencia a los condicionantes particulares de llevar a cabo el proyecto bajo sistemas BIM. En ese momento se inicia un periodo de definición del *BIM PxP*.

Se decidirá cuál será la configuración del área compartida entre los diferentes agentes vinculados en el proyecto. Deberá escogerse un sistema de CDA (*Common Data Environment*), un sistema de gestión de la documentación, un sistema de permisos y la configuración del CDA. Todos estos puntos deberán ser verificados por los agentes contratados (32).

Durante el diseño del proyecto, el *Project Manager* deberá garantizar la coordinación de los distintos equipos implicados, como también la coordinación general con el cliente. En las reuniones con el cliente se recogerán aquellas especificaciones deseadas a introducir en el proyecto y se aprovechará para comunicar el avance de la redacción del proyecto como también diferentes puntos que necesiten de su opinión o aprobación para el desarrollo del mismo. El *Project Manager* hará constancia de las reuniones mediante las Actas de reunión de coordinación general con el cliente.

De manera periódica y según lo pactado, el *Project Manager* se encargará de elaborar los informes mensuales del proyecto, que contendrán el avance de los modelos de información en relación al avance del proyecto. También recogerán aquellos puntos de importancia relativa recogidas en las actas de reunión de coordinación técnica y las actas de reunión de coordinación BIM. En relación al *BIM PxP*, tal y como se ha dicho anteriormente, es un documento dinámico, el cual se va alimentando a medida que avanza la redacción del proyecto. Es por eso que se irán llevando a cabo actualizaciones del mismo documento.

Paralelamente, se llevarán a cabo reuniones de seguimiento de diseño donde se le transmitirá al equipo redactor los requerimientos y especificaciones deseadas por el Cliente. Al mismo tiempo, el equipo redactor presentará la evolución del Proyecto, consultando aquellos puntos que necesiten de aprobación del Cliente. Se repasarán los modelos de información creados como también posibles informes de incidencias en los modelos. Se dejará constancia de las reuniones y comunicaciones mediante las actas de reunión de coordinación técnica.

Por otro lado, se convocarán reuniones periódicas y siempre que fuera necesario con los responsables del equipo BIM. En este caso, se hará una revisión más exhaustiva de los modelos presentados. Se tratarán aquellos temas que hayan podido salir en las reuniones de coordinación técnica o en actas de coordinación BIM anteriores. De las mismas también se redactarán actas de reunión de coordinación BIM y se actualizará el *BIM PxP* siempre que sea necesario.

Otro de los trabajos que pueden ser encargados al *Project Manager* y a su equipo es la realización de una auditoría técnica del Proyecto. En este caso se examinará el modelo con detalle, comprobando la definición de elementos, el proceso constructivo propuesto, el presupuesto, las mediciones, los aspectos relacionados con las instalaciones previstas y los documentos técnicos (memoria, planos, anexos de cálculo...). Se prestará también especial atención a la concordancia con lo especificado en el *BIM PxP*, en especial en lo relativo a geometría, información, clasificación y taxonomía. Una vez obtenidas las conclusiones y detectados puntos a corregir si lo fuese, el *Project Manager* se pondrá en contacto con el equipo redactor y con los posibles colaboradores externos para tratar cada uno de los puntos anotados y emitir el informe de revisión de Proyecto. Una vez dado por finalizada la revisión y auditoría técnica del Proyecto, se presentará la solución final prevista al Cliente para que dé como buena la documentación presentada y preparada para ser licitada (32).

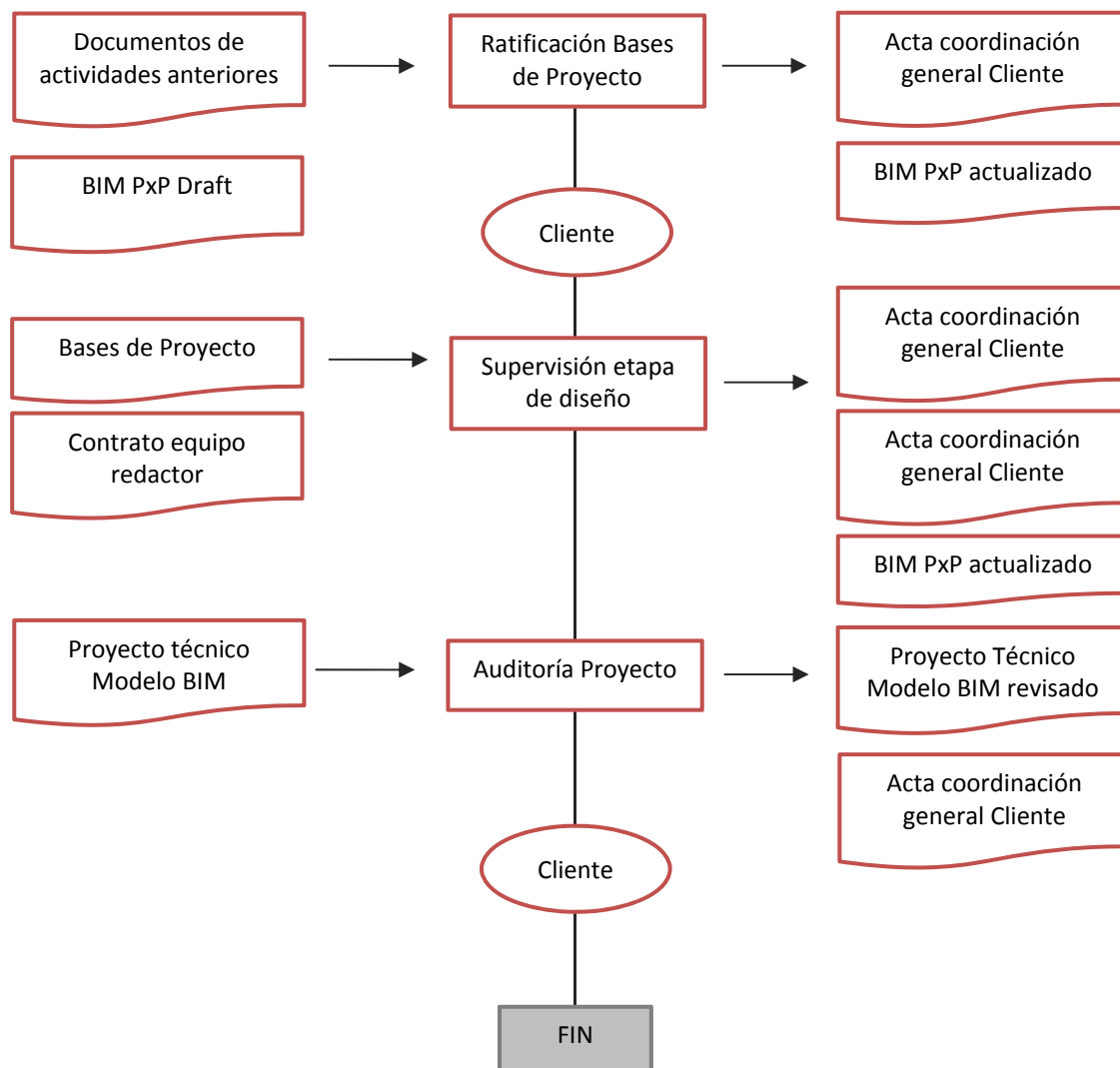


Figura 29. Flujograma fase de diseño proyectos BIM. Fuente: Elaboración propia.

Durante el desarrollo y definición del Proyecto se irá actualizando y detallando el *Planning General*, especialmente de la parte correspondiente a la etapa de diseño. A partir de los temas comentados y decisiones tomadas en las distintas reuniones de coordinación técnica o de coordinación BIM, así como también el cumplimiento o no de las tareas previstas a realizar entre reunión y reunión. Con todo ello y con la revisión de los posibles informes semanales de revisión de proyecto o de las incidencias del mismo, se irá actualizando y planificando las tareas a realizar.

Por otro lado, uno de los puntos con mayor repercusión de un Proyecto, es la estimación de costes del mismo a medida que va avanzando su definición. La vinculación de herramientas creadoras de presupuestos con el modelo representado, hace que pasemos de estimaciones por ratios o por obras similares a directamente mediciones reales. Así que de este modo, a partir de los modelos y de la descripción del *Work Break Down Structure* contenida en el *BIM PxP*, se llevará a cabo la extracción de las mediciones, respetando siempre la prioridad de obtener las mediciones de aquellas partidas identificadas como prioritarias. Hoy en día los despachos de arquitectura e ingeniería cuentan tanto con bases propias de datos de precios unitarios como plataformas que ofrecen los mismos (base de datos BEDEC del ITeC) (36). La vinculación entre el modelo y la herramienta de creación de presupuestos no es inequívoca, sino que requiere de la asignación de partidas de obra o conjuntos de mediciones. Posteriormente debe revisarse que todas las mediciones hayan sido asignadas y que correspondan a los verdaderos trabajos a ejecutar. Pero la elaboración de estimaciones económicas o presupuestos no finaliza aquí. Para buscar una mayor aproximación a los costes totales que supondrá la ejecución de las obras, será en muchos casos necesario la extrapolación de mediciones a partir de otros elementos, que deberán ser después asignadas a partidas de obra.

Se presentará al Cliente los documentos referentes a los costes estimados del Proyecto, actualizándose siempre que fuese necesario, hecho que se lleva a cabo a tiempo real con según qué herramientas. Cabe mencionar que es posible que las estimaciones de costes realizadas por el *Project Manager* pueden tener unos criterios diferentes a los del equipo de redacción del Proyecto, los cuales quedan documentados en el *BIM PxP* actualizado. Más adelante se explicará cómo se lleva a cabo el seguimiento económico de la obra y qué herramientas se emplean para ello.

Durante el proceso de licitación se establece el proceso de adjudicación de la empresa contratista para la realización de las obras. Se redacta también el contrato y pliegos para la contratación de la misma empresa, así como también el uso de herramientas para la facilitar la toma de decisiones frente las ofertas económicas recibidas.

En primera instancia, el equipo de *Project Management* preparará toda la documentación a entregar a los contratistas ofertantes, incluyendo memorias técnicas, modelos, planos, prescripciones técnicas, estudios y otros documentos necesarios para la comprensión del Proyecto. Es de gran importancia promover que los futuros contratistas estudien el modelo creado y lo validen. Siempre y cuando sea oportuno, se les pedirá también propuesta de alternativas que puedan significar mejoras considerables al proyecto.

Se redacta una lista con las posibles empresas que puedan ser candidatas a participar en el concurso, confeccionando la denominada *Long List*, en castellano Lista Larga. El cliente

conjuntamente con el *Project Manager* descartará algunos aspirantes de la *Long List*, quedando entonces la *short list* o Lista Corta (32).

Paralelamente se confeccionará el modelo de contrato acompañado con las bases de licitación, donde queda detallado el procedimiento del proceso de licitación y los documentos a entregar en la oferta. Se revisarán por el Cliente y posteriormente se corregirán en el caso que fuera necesario por el *Project Manager*, resultando finalmente el contrato y los pliegos de licitación. Una vez preparada y revisada la documentación, se les entrega a los participantes para que confeccionen sus ofertas, que se deberán ser entregadas antes de la fecha máxima descrita en las bases de licitación.

Siempre que esté estipulado en los pliegos de licitación, durante el periodo de redacción de la oferta por parte de los participantes, tendrán ellos mismos la posibilidad de resolver incidencias o solicitar aclaraciones del contenido de la documentación enviada. Con el fin de proporcionar la misma información a todos los concursantes al Proyecto, se recomienda dejar constancia de los puntos tratados en una hoja de aclaraciones que será actualizada y enviada a los participantes.

Una vez finalizado el tiempo de presentación de ofertas, el equipo responsable del Proyecto se reúne para analizar y valorar las ofertas recibidas. Para ello se tendrá en cuenta el sistema y criterio de valoración definido previamente en los pliegos. Se emplearán como hojas de trabajo cuadros comparativos, de manera que faciliten la valoración de las ofertas y la comparación de todos los licitantes. Será necesario comprobar que los equipos contratistas no pidan alguna modificación del contenido del *BIM PxP*.

Siempre que el cliente desee y haya sido previamente establecido, se realizarán tantas rondas como sea necesario, invitando a aquellas empresas más competitivas e interesantes. Por último, se redactará el informe final de licitación a partir de los cuadros comparativos de las ofertas económicas y los puntos a valorar descritos en el pliego de bases de licitación, así como las conclusiones obtenidas. Se presentará el informe al Cliente para su evaluación y a su vez el *Project Manager* propondrá la empresa adjudicataria, para que el cliente ratifique la elección o realice las observaciones que considere pertinentes para tomar una decisión (32).

Una vez adjudicadas las obras a uno de los participantes de empresas contratistas, le será comunicado a la empresa ganadora, al mismo tiempo que se recomienda enviar cartas de agradecimiento al resto de participantes.

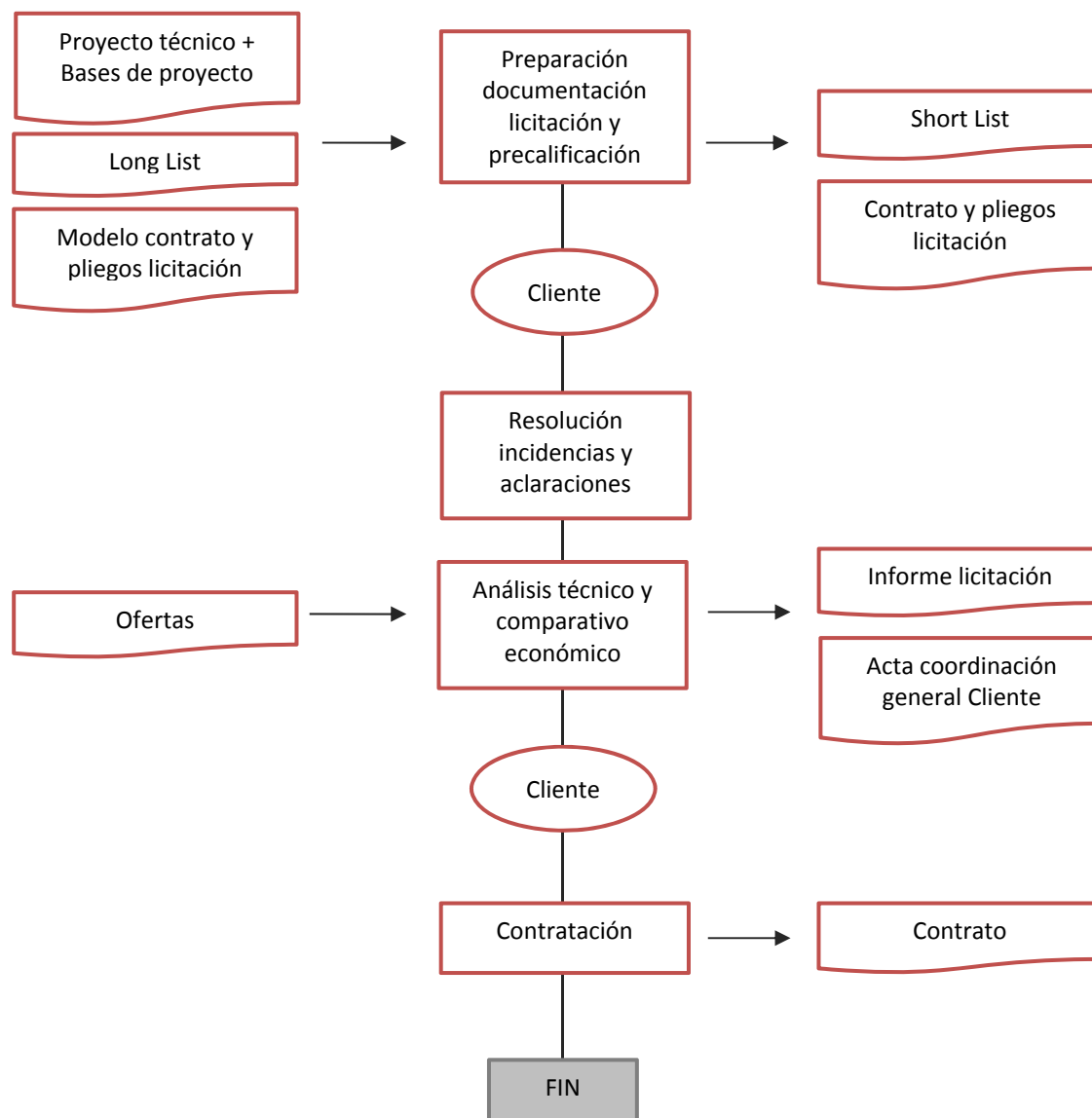


Figura 30. Flujograma contratación proyectos BIM. Fuente: Elaboración propia.

Tan pronto como se tenga una empresa adjudicataria y la licencia de obras, siempre y cuando el cliente lo desee, se iniciarán las obras. La empresa contratista llevará a cabo la verificación de los trabajos previos, en los que a partir de los modelos de información que componen el proyecto ejecutivo licitado, se realizará una verificación de los trabajos previos mediante simulaciones 4D. De esta manera se acotan los hitos del planning general de las obras, comprobando su ejecutabilidad e identificando posibles holguras que puedan tener lugar durante el proceso constructivo. Una vez analizado el solar, replanteado topográficamente los puntos de referencia base, se llevará a cabo la redacción y firma del Acta de Inicio de obra, plantilla modelo adjunta al Anexo 2.

### 3.4 Fase de construcción

Desde la misma fase de gestión del diseño del proyecto hasta la ejecución de las obras y entrega de las mismas, hay básicamente tres puntos donde la figura del *Project Manager* asume una responsabilidad completa para el buen diseño, ejecución y control de las obras. Nos referimos a las tareas de control y seguimiento de costes, control de la planificación y actualización y, por último, de la gestión y control de riesgos.

#### 3.4.1 Control de costes

Durante el subcapítulo de Fase de Diseño se ha explicado ya que durante la realización del proyecto mediante modelos se elaboran las primeras estimaciones de costes, reflejadas en presupuestos. El *Project Manager* debe de hacer un uso constante de las llamadas hojas de control de costes, donde quedan reflejadas las estimaciones económicas de costes en los que pueda incurrir el proyecto respondiendo a los objetivos del cliente y a la documentación disponible. Es importante que la hoja no solo recoja aquellos gastos directamente imputables a las obras de ejecución, sino también debe de dejar constancia de los gastos previstos para la obtención de la licencia, estudios e informes no contratados al equipo de diseño, cánones, tasas, trabajos a realizar por compañías de suministros... El formato y estructura de la hoja de control de costes se establecerá bajo el acuerdo del cliente siempre que lo desee, así como también la estructura de precios y las fuentes de información. En el Anexo 3 se incorpora un modelo de Hoja de control de costes.

A medida que avance la fase de diseño, ya sea en la redacción y representación de los modelos del proyecto básico o ejecutivo, y se vaya incrementando el grado de detalle del proyecto, se irán actualizando las estimaciones de los costes contenidos en la Hoja de control económico. Se incorporarán aquellos nuevos capítulos y trabajos no previstos anteriormente, respetando la estructura pactada e informando al cliente siempre que fuese considerado. También se tendrá en cuenta los costes de las contrataciones, de carácter técnico u otro, en las que se vaya incurriendo o que esté previsto contratar en un momento futuro. La cadencia de las actualizaciones vendrá en función del avance del proyecto y según las peticiones del cliente.

Una vez finalizada la redacción del Proyecto ejecutivo y sometido a la licitación de las obras, se adaptará la Hoja de control económico a la oferta económica de la empresa contratista adjudicataria, incorporando sus precios unitarios. En ella se establecerá el valor del presupuesto objetivo, como también el del valor real contratado. Mediante los modelos de información presupuestados, se extraerán las estimaciones de precios proporcionales al avance de las obras. Siempre se comprobará la correspondencia entre la facturación y la estimación. Una vez revisada y aprobada se elaborará la factura y será emitida la orden de pago. Se llevará a cabo un seguimiento de las certificaciones aprobadas periódicamente, normalmente de manera mensual a final de mes.

Es posible que durante la ejecución de las obras el cliente, el equipo redactor o la misma empresa contratista estudien y aprueben la modificación del proyecto. Las consecuencias que tiene sobre los modelos de información y otros documentos del proyecto se explica en puntos posteriores. Cualquiera de los agentes anteriores podrá formular solicitudes de cambio, de las cuales se llevará



a cabo una evaluación técnica y contractual del cambio. Una vez estudiada la viabilidad técnica del cambio se decidirá si se procede o no a aceptar la modificación. En el caso de que fuese aprobada, se valorará su impacto económico que conlleva la modificación, como también los costes incurridos por la posible modificación de plazos. Posteriormente se tramitará contractualmente la orden de modificación, obteniendo la orden de modificación definitiva. Se comunicará la orden de modificación a todos aquellos agentes que sean implicados, redactando posteriormente un Acta de coordinación técnica. Por último, se procederá a actualizar la Hoja de control económico, incorporando las ampliaciones contratadas.

Las tareas de control económico finalizan en el momento de la liquidación de las obras con la empresa contratista, que comprende el pacto de cierre económico con los Contratistas y que implica el cierre económico del Proyecto. El valor de la liquidación corresponderá a la diferencia entre el importe total de las obras contratadas y la certificación acumulada hasta ese punto temporal.

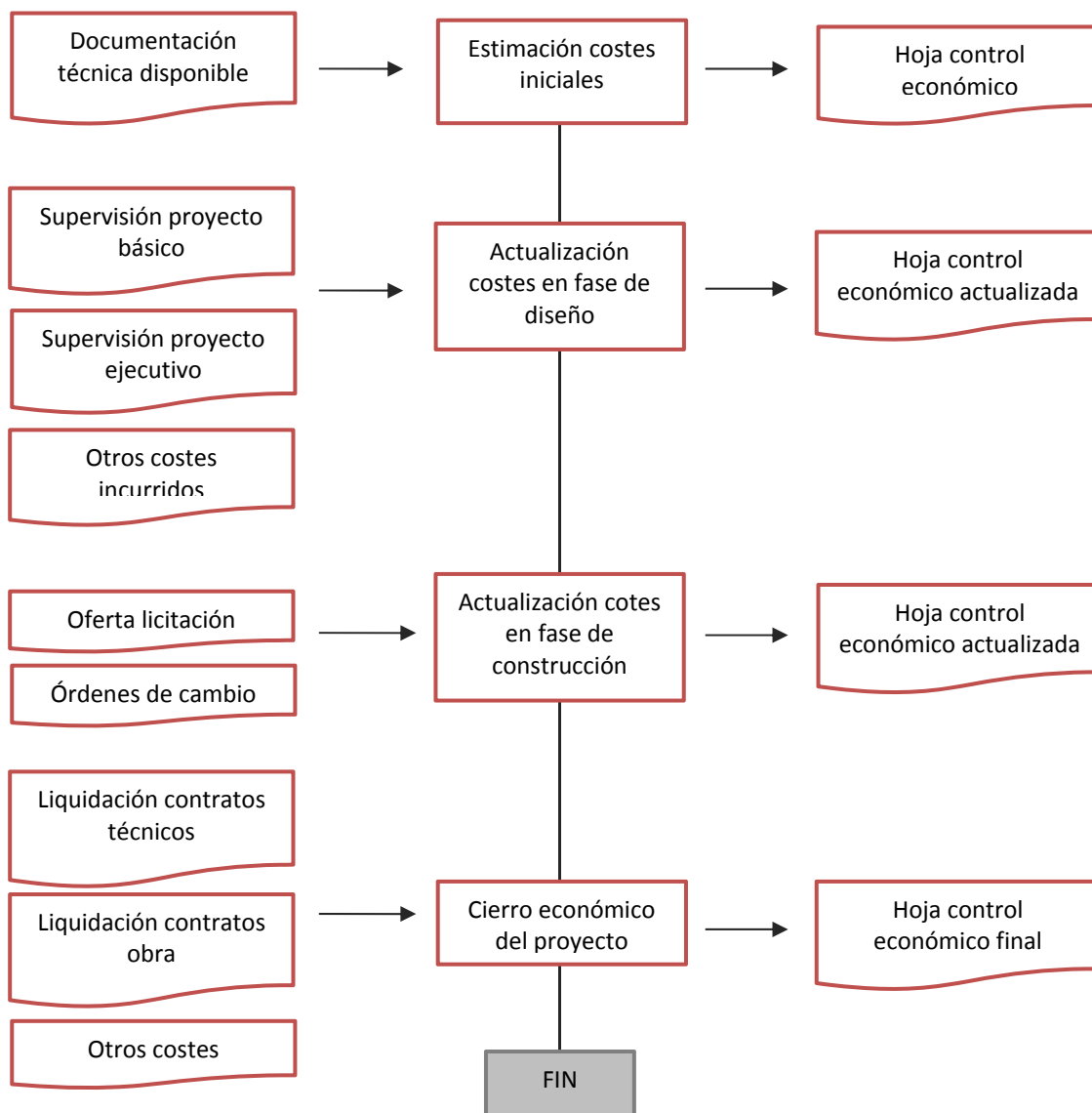


Figura 31. Flujograma control económico proyectos BIM. Fuente: Elaboración propia.

### **3.4.2 Control planificación**

Tal y como se ha citado anteriormente, el control y seguimiento de la planificación de las obras es una de las tareas a coordinar y asegurar dentro de los equipos de trabajo involucrados tanto en la redacción de proyecto como en la ejecución de las obras. Durante la redacción y definición del proyecto, analizando la documentación técnica disponible y los objetivos especificados por el cliente, se transmitirán los hitos principales del Proyecto al equipo de diseño para que confirmen su objetividad y factibilidad respecto a los trabajos previstos a realizar y para que elaboren un Planning general del Proyecto, dotando de factor tiempo a las distintas tareas requeridas tanto en la fase de preconstrucción y construcción del proyecto. Haciendo referencia a las oportunidades que ofrecían los mismos software de representación BIM y otros de más específicos, se procurará que el modelo incorpore en sí las fases de construcción, quedando reflejados los periodos de tiempo para realizar cada una de las tareas, así como también el orden cronológico de los mismos (32).

Por otro lado, se recomienda acompañar el Planning general del proyecto con un Cuadro de Seguimiento de las Tramitaciones, en el que se detallarán las tareas relacionadas con la obtención de permisos y los trámites a realizar.

A medida que avance la redacción tanto del proyecto básico como la del ejecutivo y se vaya detallando el mismo, se atenderá a todas las actividades del proyecto y obra que puedan tener incidencia en los plazos previstos del proyecto, tales como revisiones de Proyecto y modificaciones, trámites y legalizaciones y otros. Se procederá a actualizar el Planning general, de manera que vaya incorporando el desarrollo del Proyecto, habiendo antes dejado constancia en las actas de coordinación de Proyecto y actas de seguimiento de proyectos técnicos de los cambios introducidos.

Una vez llevado a cabo la licitación de las obras, se actualizará el Planning general a los plazos comprometidos por la empresa adjudicataria, en acorde con los hitos principales definidos por el cliente. De la misma manera, se irán pidiendo plannings más detallado de los diferentes trabajos a ejecutar, así como de una planificación a corto plazo de las obras previstas a ejecutar. Durante la fase de ejecución de las obras, se harán las pertinentes modificaciones en el Planning general según la información extraída de los distintos contratistas o industriales de las reuniones de seguimiento de Obra.

Las variaciones en el proyecto o retrasos que impliquen modificaciones de los hitos generales del proyecto deberán ser aceptadas y aprobadas por el cliente. Como norma general, se comunicará y reflejará en los informes de seguimiento para el Cliente todas las modificaciones del Planning general.

A partir de las solicitudes de cambio recibidas directamente por parte del Cliente o propuestas por el equipo de diseño o por la empresa contratista, se procederá de manera similar a la gestión de cambios del control económico. Se llevará a cabo una evaluación técnica y contractual del cambio. Una vez estudiada la viabilidad técnica del cambio se decidirá si se procede o no a aceptar la

modificación. En el caso de que fuese aprobada se actualizará el Planning general según lo acordado. Seguidamente, se procederá pues a actualizar los hitos principales establecidos por el cliente, en el caso que fuesen alterados, y a comunicar la modificación a los diferentes agentes intervinientes en la Obra.

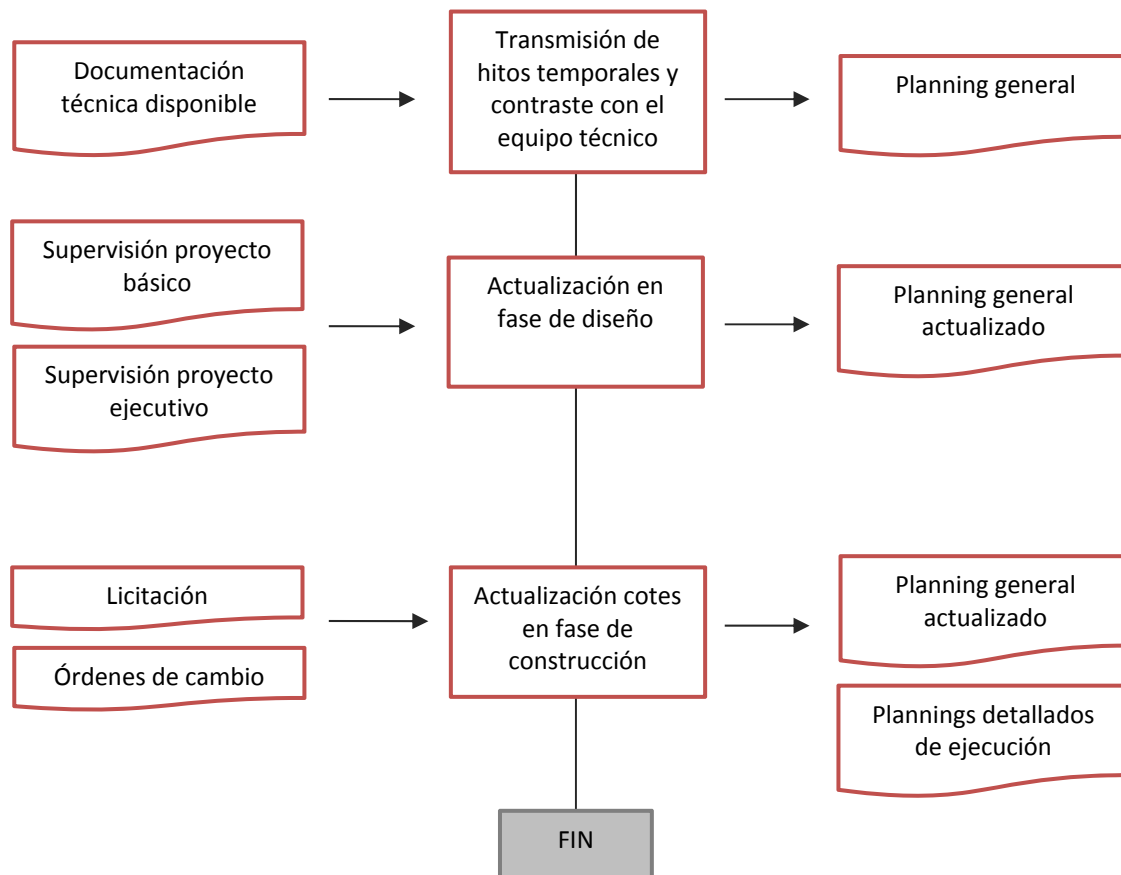


Figura 32. Flujograma control planificación proyectos BIM. Fuente: Elaboración propia.

### 3.4.3 Control de riesgos

Cualquier inversión que se lleva a cabo acarrea consigo una serie de riesgos y peligros en los que puede incurrir en mayor o menor medida. Desgraciadamente es imposible reducir esos riesgos hasta obtener una inversión 100% segura, ya que muchos de los factores causantes de dichos riesgos son independientes al proyecto y no influenciados. Es por todo ello, que se recomienda hacer un estudio de identificación y valoración riesgos antes y durante lanzar en marcha un proyecto.

En primera instancia, mediante la reunión conjunta de los diferentes responsables del proyecto y el Cliente se escogerá la estrategia de gestión del riesgo, con el fin de concretar cómo será gestionado, como también el proceso y la metodología a utilizar. Posteriormente se elaborará a

partir de la información contenida en el Informe de Viabilidad y en otra documentación disponible el Cuadro de riesgos del Proyecto (se incluye cuadro de riesgos modelo en el Anexo 4). Se identificarán los posibles riesgos que pueda incurrir el Proyecto, identificando también sus causas y agrupándolos según su naturaleza. Se llevará a cabo un análisis de los riesgos con tal de identificar sus características a nivel cuantitativo y cualitativo, determinando su probabilidad e impacto. Se presentarán respuestas y acciones a cada uno de los riesgos identificados con el objetivo de evitar, transferir, mitigar y controlar los riesgos (32).

Para no únicamente realizar un listado de los riesgos del proyecto, pero sin reflejarlos en el mismo, se trasladarán las posibles consecuencias económicas a la Hoja de control económico.

Con el avance de la redacción del Proyecto y la evolución de las gestiones de tramitación de licencias y permisos, se irán incorporando nuevos riesgos identificados al Cuadro de riesgos y, siempre que sea necesario, se actualizarán los riesgos previamente determinados, atribuyéndoles nuevas acciones, probabilidades de suceso y consecuencias tanto económicas como temporales.

Con el inicio de las obras, se incorporarán con el avance de las mismas los posibles riesgos no identificados previamente. Se valorará su posible incidencia económica, con el fin de actualizar la Hoja de control económico, dotándola con nuevas previsiones.

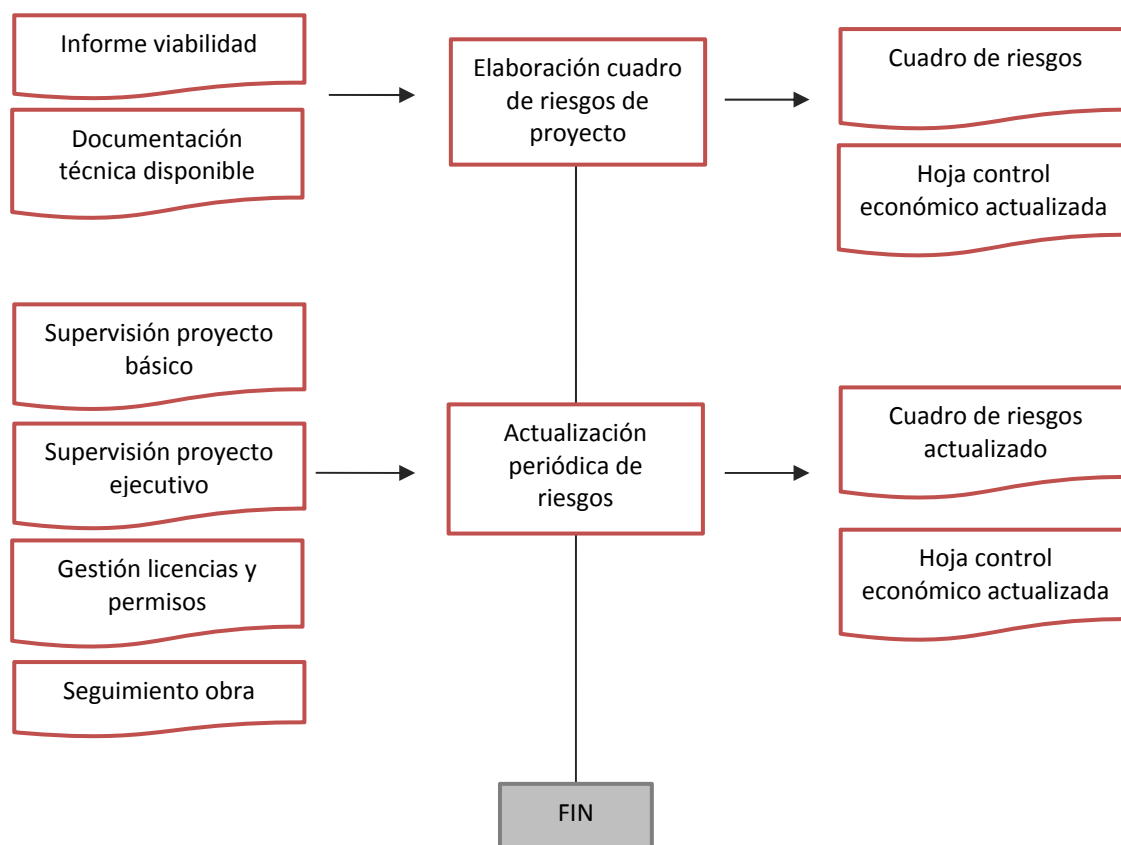


Figura 33. Flujograma control de riesgos proyectos BIM. Fuente: Elaboración propia.

### 3.4.4 Gestión de la construcción

En este subapartado se abordará cómo se lleva la gestión y control del proceso de ejecución de las obras, tanto en su fase inicial, desarrollo y puesta en marcha de las mismas.

En el último punto de la gestión de diseño, explicábamos que una vez llevada a cabo la licitación de las obras y obteníamos un contratista, se llevaba a cabo la verificación de los trabajos previos mediante una simulación 4D, revisando la planificación de las tareas a realizar, simulando la secuencia constructiva y la posibilidad de estudiar el Proyecto en un preciso instante de tiempo, abarcando la totalidad de campos y agentes que intervienen en el proceso constructivo con el fin de detectar posibles lagunas de gestión. Como posible herramienta se podrá adaptar un *Check-list* o Listado de comprobación de trabajos previos a realizar. Posteriormente, se comunicará a los responsables de los diferentes equipos los requisitos a cumplir en el *Check-list*, que se serán verificados más adelante.

Antes la firma de del Acta de Inicio de Obras, el *Project Manager* habrá informado con antelación sobre la documentación necesaria a presentar por cada uno de los firmantes. El Acta de Inicio de Obras (modelo en Anexo 2) incluye el replanteo, documento por el cual todas las personas invitadas al acto de firma declaran tener conocimiento y dar conformidad sobre el terreno y la ubicación definitiva de la obra del proyecto.

Generalmente, el Acta de Inicio de Obras estará formada por los siguientes documentos:

- Plano de replanteo
- Plano topográfico
- Proyecto técnico en modelos BIM
- Contrato de obras y anexos
- Otros documentos que acrediten la disponibilidad física del sola y sus afecciones
- Posibles aclaraciones efectuadas con anterioridad

Por otro lado, el Acta deberá ser firmada por las siguientes partes:

- Cliente
- Director de Obra
- Contratista
- Project Manager (sin ser su firma intrínsecamente necesaria)

La ejecución de la obra se supervisará mediante visitas de obra, cuya cadencia vendrá principalmente dada según las características del proyecto y la fase de ejecución en la que se encuentre. En primera instancia, se procederá a la lectura del Acta de Seguimiento anterior, dando si procede la conformidad por parte de todos los intervinientes mediante la firma de la misma. Se procederá a la lectura del orden del día de la reunión, que podrá haber sido enviada con antelación con el fin de permitir la preparación de la reunión por el resto de intervinientes, y seguidamente se pondrán en común cada uno de sus puntos. Se recopilará toda la información referente a los temas tratados durante la visita de obra. Se llevará también una coordinación 4D con la misma empresa contratista y con los diferentes agentes subcontratados siempre que fuera necesario, para esclarecer los trabajos realizados y los pendientes de ejecutar y sus correspondientes soluciones. El

Acta de Seguimiento se redactará después de la visita, haciéndola llegar por el medio acordado a los participantes antes de la siguiente visita.

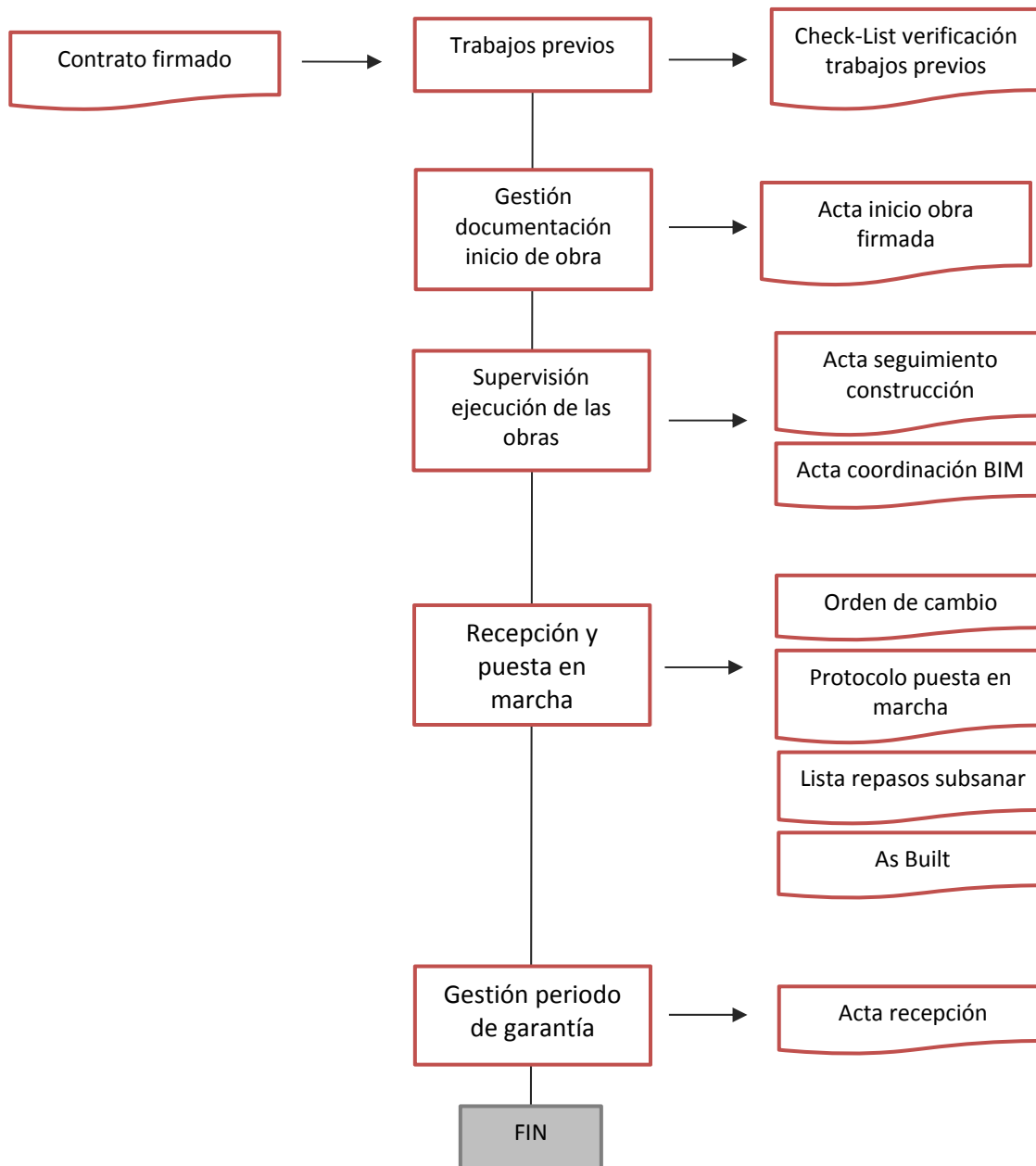


Figura 34. Flujograma gestión de la construcción de proyectos BIM. Fuente: Elaboración propia.

En puntos anteriores se ha comentado qué la modificación de soluciones constructivas es una práctica habitual, ya sea para adaptarse a nuevos condicionantes previamente no detectados como para llevar a cabo una solución más económica que respete las calidades establecidas previamente. Se adjunta en el Anexo 5 una plantilla modelo de Orden de modificación.

Como criterio general, se aceptarán todas aquellas solicitudes de órdenes de modificación provenientes del Cliente, Contratistas o Dirección de Obra; recopilando toda la información referente a las causas que han provocado la propuesta del cambio de proyecto. Una vez recopilada

esta documentación técnica necesaria, se lleva a cabo un análisis de viabilidad técnica de la propuesta. Se estudiará y valorará la solución propuesta, así como también su inclusión en el Proyecto original y sus posibles afectaciones. Se formaliza la orden de cambio, valorando finalmente su pertinencia o no de inclusión en el Proyecto. En el caso que se considere no procedente, se hará un registro de la solicitud de cambio.

Aquellas órdenes de cambio que hayan sido consideradas precedentes, deberán ser después valoradas económicamente. Se identificarán aquellas partidas acompañadas de sus correspondientes mediciones que componen la modificación, señalando aquellas que pueden llevar a precios contradictorios. Con el fin de contrastar los precios contradictorios propuestos por el contratista escogido, se pedirá si fuera necesario precios a diversos proveedores. Se presentará conjuntamente con la propuesta de modificación los modelos de información alternativos, que serán posteriormente revisados por el Cliente.

El Cliente aprobará o rechazará la orden de cambio, siempre bajo una aprobación anterior del Coordinador de Seguridad y Salud y de la Garantía decenaria, y posteriormente, de la Dirección Facultativa y del *Project Manager*.

Se elaborará la orden de cambio definitiva y acompañada de su valoración económica, para iniciar su tramitación contractual. Posteriormente se procederá a la firma por parte del Cliente. Al mismo tiempo se rellenará la Hoja de precios contradictorios, con el fin de llevar un control de todos los precios presentados por el contratista o industrial, ya sean aceptados o rechazados. También, se especificarán los modelos de información implicados en la redacción del *As Built*, documento compuesto por toda la documentación final de obra:

- Documentación gráfica y detalles.
- Modelo BIM final del proyecto.
- BIM Project Executive Plan definitivo.
- Memoria descriptiva de las soluciones técnicas empleadas.
- Estudios realizados durante la ejecución de las obras y anteriores.
- Esquemas de conexionado
- Relación de equipos instalados.
- Fichas técnicas y listado de proveedores.
- Resultados ensayos realizados por el Control de calidad.
- Otros.

Finalmente, una vez aprobada y firmada la orden de cambio, se convocará una reunión de Seguimiento de construcción con el objetivo de difundir a los equipos técnicos afectados la orden de cambio y sus implicaciones en relación a la obra. Seguidamente, se actualizarán las Hojas de control económico y el Planning general actualizado, incorporando las nuevas partidas y tareas a ejecutar. Se adjunta en el Anexo 6 una ficha modelo de la Hoja resumen de precios contradictorios.

A la proximidad de la finalización de las obras, se empezará a preparar el protocolo de puesta en marcha de la obra, donde se describirán los pasos a seguir y las tareas a realizar para la recepción de las obras. Paralelamente, se redactará la lista de la relación de los repasos a subsanar y los agentes responsables. Se comunicará a los mismos responsables las tareas a realizar, así como también la fecha límite de finalización. Se supervisará la elaboración por parte de los contratistas y

del Equipo Técnico del *As Built*, que incluirá todos los documentos que definen el estado final de la obra, incluyendo modificaciones y proyectos complementarios. En el pertinente caso, se revisará los modelos de información *As Built* presentados, al igual que se actualizará si fuera necesario el BIM PxP.

Se llevará a cabo el Acta de Recepción de Obra y su firma por parte del Cliente, de la Dirección Facultativa y del Contratista. En el caso de contratación fraccionada se elaborará una Acta de Recepción de Obra por cada paquete contratado, pero en el caso de coincidir las fechas de entrega, podrá realizarse una Acta conjunta.

Durante el periodo de garantía (12 meses después de la firma del Acta de Recepción de Obra) se detallarán todas aquellas patologías o desperfectos derivados de consecuencias constructivas y no pues de su uso. La Dirección Facultativa y el *Project Manager* visitarán la obra de forma previa a la fecha de la Recepción de Garantía para comprobar si existen defectos aún sin solucionar (32).

A la finalización del plazo previsto, se procederá a la firma del Acta de Recepción de Obra por parte del Cliente, el Contratista y, si fuera deseado, de la Dirección Facultativa.



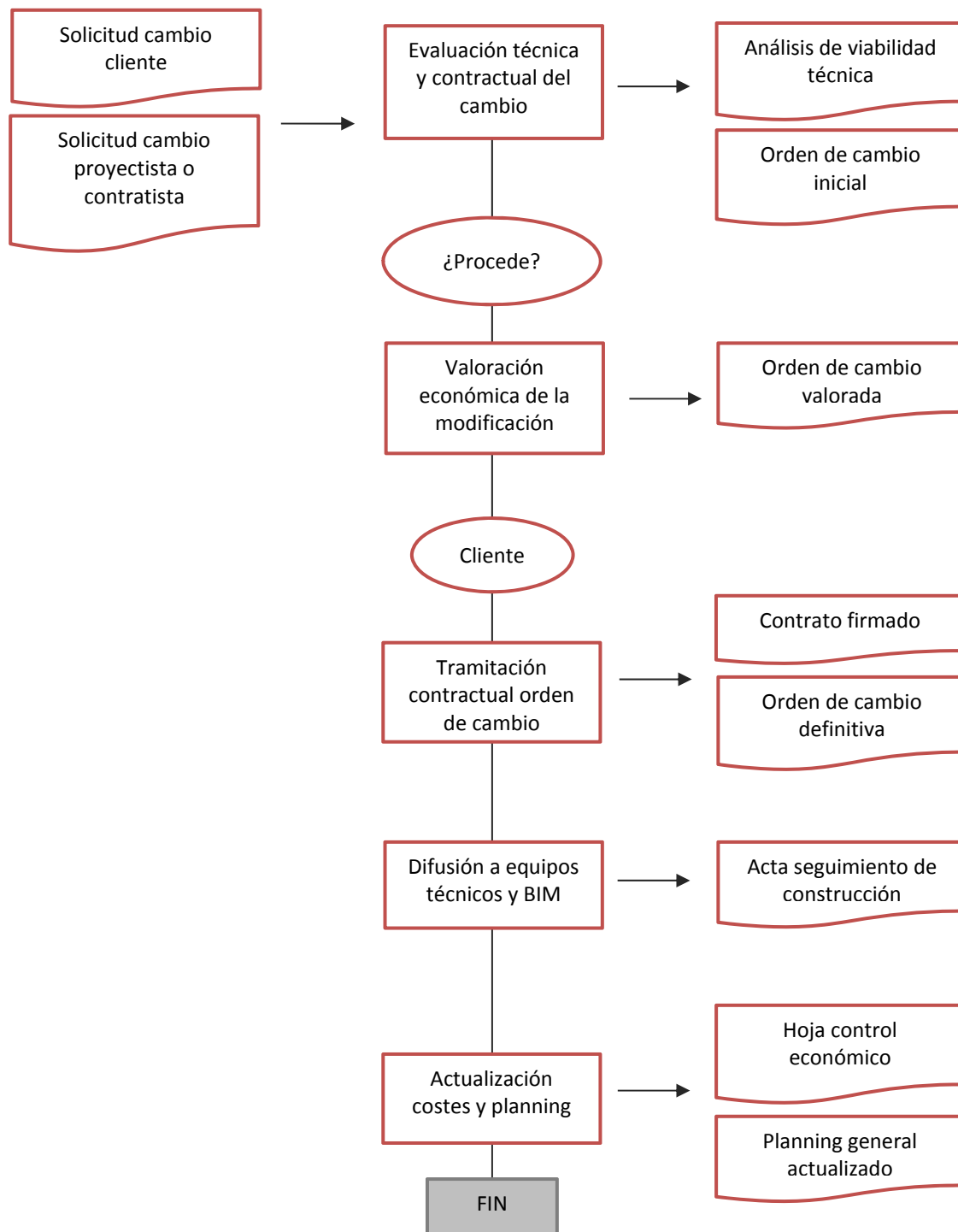


Figura 35. Flujograma gestión órdenes de modificación proyectos BIM. Fuente: Elaboración propia.

### 3.5 Fase de explotación

Hasta este punto, la mayor parte de lo explicado acerca del BIM y su incidencia en la metodología del *Project Manager* se refiere a las fases de preconstrucción y construcción. Pero el uso de la metodología BIM no acaba allí, sino que también puede sacarse partido en la fase de explotación de los activos ejecutados, tanto en la manera en que están gestionados y son mantenidos.

Resulta una práctica muy interesante y bastante sorprendente, en hacer un cálculo estimativo de los costes repercutidos en cada una de las fases del ciclo de vida de un edificio, diferenciando la fase de diseño, construcción y explotación. Tal y como explica Patrick MacLeamy, actual CEO de HOK (*Hellmuth, Obatta & Kassabaum*) (37), firma global de arquitectura, diseño de interiores, ingeniería, planificación y consultoría con prestigio mundial, que por cada euro invertido en la fase de diseño, implicará a un gasto de 20 euros en la fase de construcción y, por último, un coste de unos 60 euros durante la vida útil en base al mantenimiento y consumo del mismo.

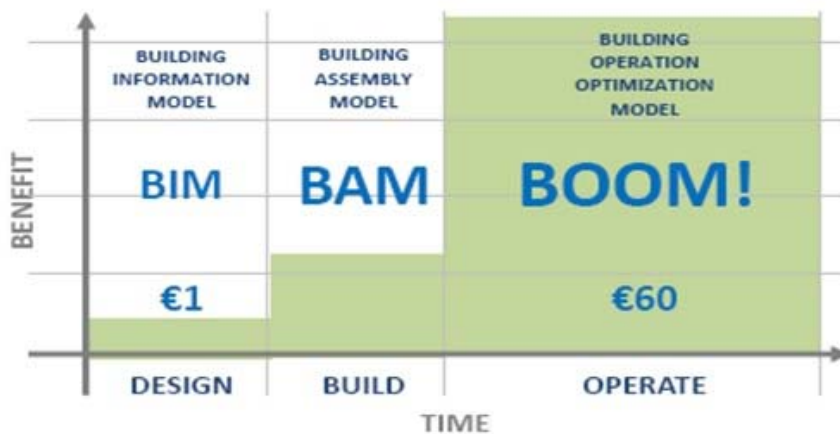


Figura 36. Ejemplo reparto de la inversión en un proyecto a lo largo de su vida útil. Fuente: BIM BAM BOOM, (Patrick MacLeamy, CEO, HOK) <http://www.youtube.com/watch?v=5lgdcCemevl>

Es por esta misma razón por la cual tanto las administraciones públicas como propietarios privados de activos tienen el interés de llevar a cabo los proyectos en metodología BIM, para así obtener un mayor control de toda la información y documentación generada de sus activos y un mayor control de los costes de mantenimiento. Hoy en día la información es un bien deseado, las mayores empresas mundiales tienen como producto información, cantidad ingente de información de los ciudadanos y empresas, que forman el denominado Big Data. Pues la construcción también busca llegar a un estado similar, ya que con la aplicación de los modelos y de la información adjuntada a los mismos se pretende obtener uno o varios documentos con toda la información necesaria y de gran utilidad.

Apuntando el dedo hacia el futuro más próximo, las ciudades pasarán a ser *Smart Cities* (ciudades inteligentes) las cuales tendrán coordinada y enlazada toda la información, permitiendo alcanzar un nivel de eficiencia que resulta únicamente posible con un control digital de todas las infraestructuras y edificios de la ciudad (37).

Como ejemplo de uno de los proyectos más ambiciosos ya iniciados en Europa, es el levantamiento de todas las infraestructuras y servicios que cruzan la ciudad de Londres por el subsuelo. Se pretende documentar todas las líneas de metro, instalaciones, infraestructuras viarias, edificios,

canalizaciones de agua y un sinfín de elementos. Es una inversión cuantiosa que pretende mejorar la eficiencia de los proyectos del porvenir, permitiendo conocer con detalle la realidad ya construida.

La aplicación de la metodología BIM en la construcción de proyectos y su posterior adecuación para el uso de la información contenida en los mismos modelos, permite a los propietarios o directamente a los *Facility Managers* los siguientes puntos (37):

- Gestión integrada de los activos e inmuebles.
- Gestión de nuevos proyectos en edificios previamente modelados con BIM.
- Gestionar, planificar y controlar el mantenimiento de instalaciones.
- Identificar y gestionar posibles impactos tanto ambientales como financieros.
- Gestionar la documentación e información recabada.
- Acceder a la información de la propiedad de una forma simple.
- Buscar y consultar en tiempo real informes, planos, dibujos y otros documentos archivados.
- Medio para compartir datos con clientes, proveedores y otros agentes implicados.

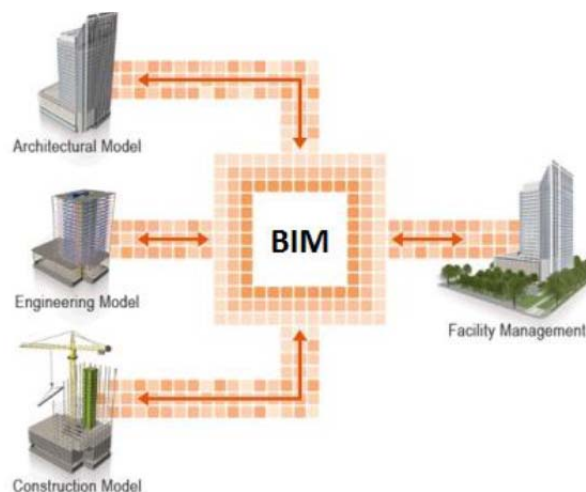


Figura 37. Vinculación de los distintos modelos empleados en la fase de diseño y construcción en un modelo de Facility Management. Fuente: Documento 3. Capacidades tecnológicas del BIM, Facility Management, Curso Zigurat BIM A.O.

Por otro lado, el hecho de poder vincular un software de representación BIM con una aplicación de *Facility Management* nos aportará las siguientes ventajas (37):

- Podremos crear en tiempo real enlaces bidireccionales entre los modelos BIM y aplicaciones de *Facility*.
- Unificar y conectar datos de la fase de diseño, construcción y gestión del activo.
- Sincronizar las propiedades del contenido del modelo con herramientas de *Facility Management*.
- Llevar a cabo la redacción de planes de mantenimiento para equipos de construcción.
- Realizar seguimientos de activos fijos, como también de los requisitos de garantía.
- Publicación de vistas y simulaciones del mismo modelo BIM en las aplicaciones de *Facility*, permitiendo a cualquier persona del equipo de proyecto visualizar y administrar la información del modelo.

### 3.5.1 Estrategia de mantenimiento

Una de las tareas que puede llevar a cabo el *Project Manager* en la explotación de un activo es el establecimiento de una estrategia de mantenimiento y su posterior gestión. En un primer caso, se busca definir el alcance del conjunto de servicios y planes de mantenimiento necesarios, así como también la definición de unos plazos. Posteriormente se deberá dotar de estimaciones económicas el volumen de gastos e inversiones a realizar en relación a la estrategia de mantenimiento establecida.

A continuación se detalla el flujograma modelo de las actividades a desarrollar en orden cronológico:

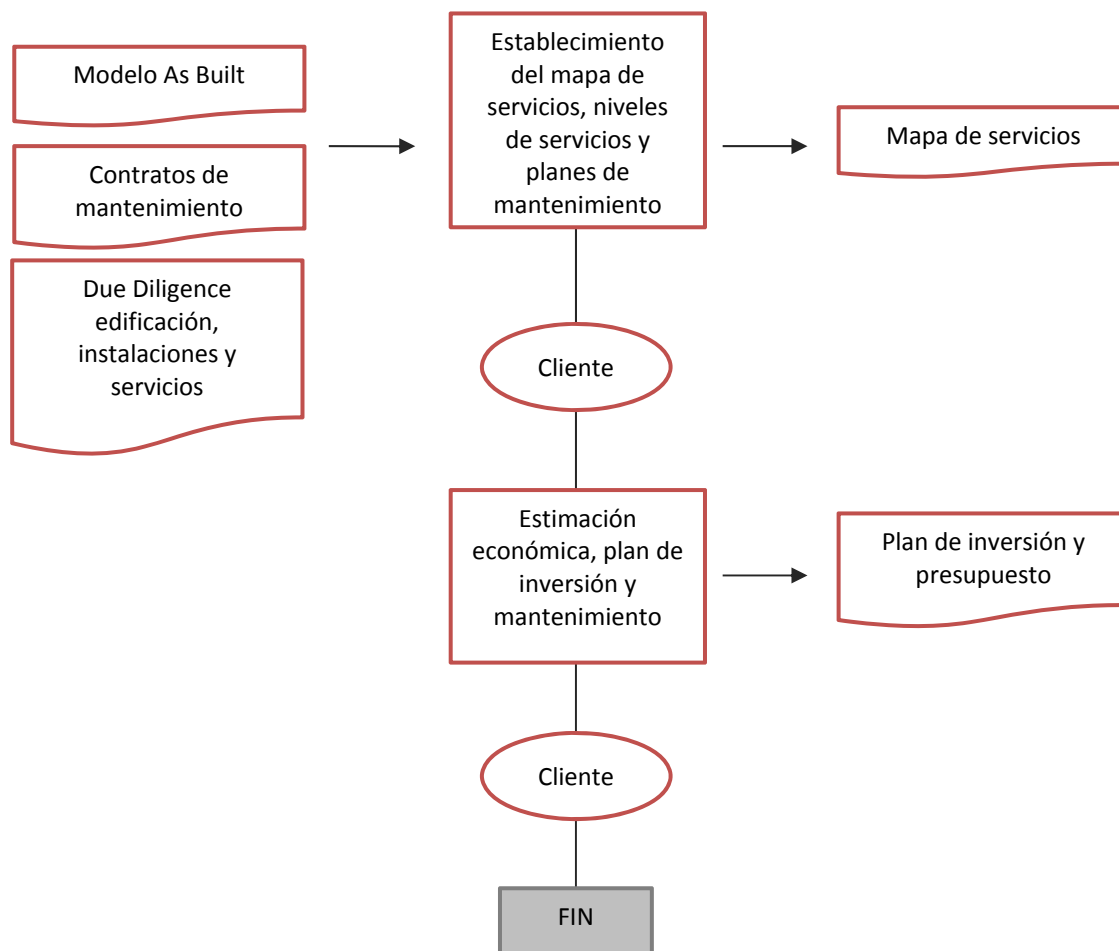


Figura 38. Flujograma estrategia de mantenimiento proyectos BIM. Fuente: Elaboración propia.

En primera instancia, el equipo de Proyecto recogerá la información relevante y necesaria de la propiedad mediante diversas fuentes, principalmente el modelo BIM, contratos de servicios de mantenimiento o a través informes de *Due Diligence* (o en castellano Diligencias previas de auditoría) si existieran, donde se especifica información sobre la edificación, las instalaciones y de los servicios (32).

Una vez analizada y valorada la información contenida en los modelos y estudiado los trabajos que se desarrollan y otros condicionantes, se procederá al establecimiento del Mapa de servicio. Se definirá también del alcance de los niveles de los mismos y de los planes de mantenimiento, proponiendo un planning inicial al cliente en la que quedarán reflejadas tanto las tareas técnicas como de gestión, que permitirán tener una visión global de la duración estimada de los trabajos. Se presentará la propuesta al cliente, que después de su revisión, se le dará el aprobado o se pactarán ciertas modificaciones para la posterior aprobación del mapa de servicios.

Una vez aprobado el Mapa de servicios por parte del cliente, se realizará una estimación económica de la estrategia de servicios adoptada, así como también de un plan de inversión y mantenimiento. Se concretará conjuntamente con el cliente los servicios incluidos en el alcance del control económico. Como resultado del estudio económico y de inversión se establecerá una propuesta de valoración inicial del plan de inversión y del presupuesto anual.

Ambos documentos serán deberán ser presentados al cliente para recibir su aprobación, que en caso contrario, se establecerán unos nuevos documentos que respondan a las especificaciones comunicadas por el cliente.

En el Anexo 7 se adjunta una hoja modelo del Mapa de servicios.

### **3.5.2 Gestión de mantenimiento**

Una vez establecido el mapa de servicios y haberlo dotado de un plan de inversión, se lleva a cabo la contratación de las empresas implicadas, a la vez que se busca mantener un seguimiento técnico y económico del desarrollo de sus servicios. Paralelamente, durante la gestión de mantenimiento es necesario realizar un seguimiento con el cliente para establecer y asegurar el cumplimiento de los objetivos deseados (32).

Seguidamente se muestra el flujograma de la gestión de mantenimiento de activos:

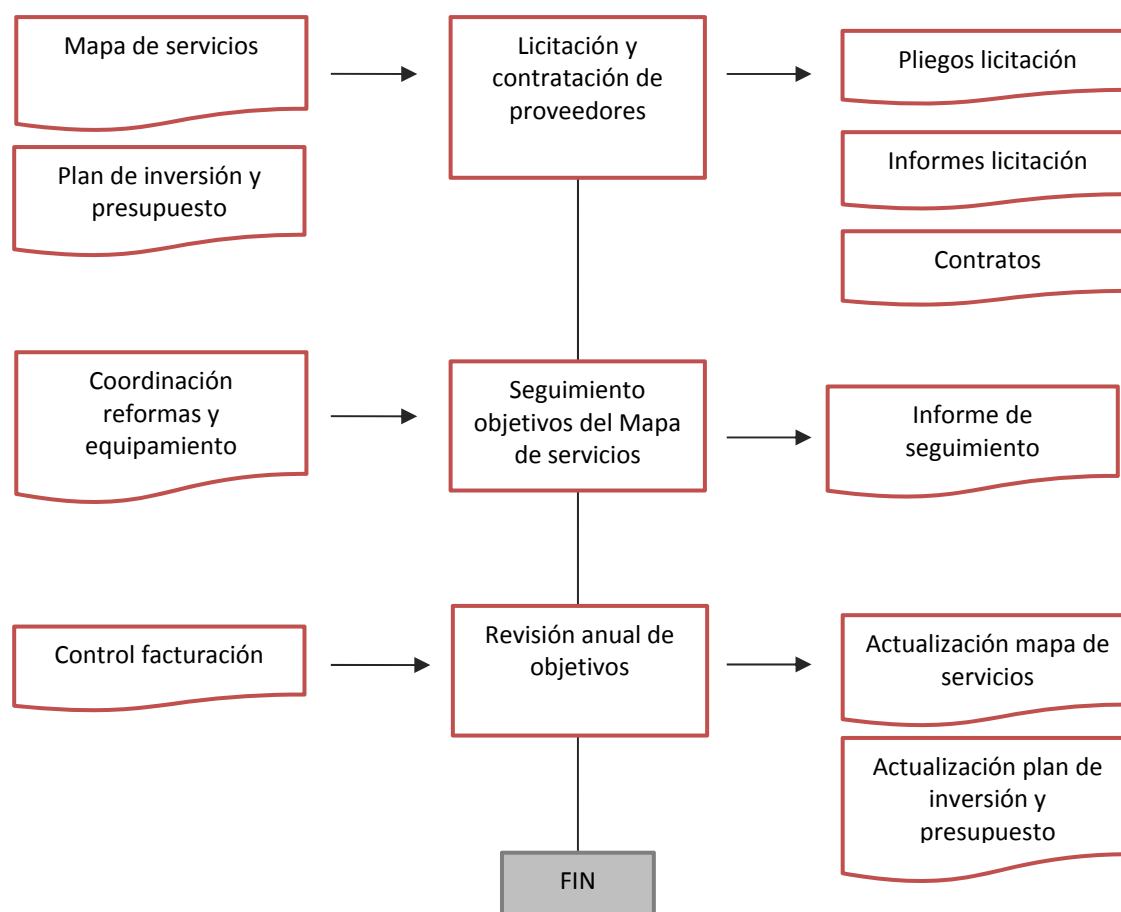


Figura 39. Flujograma gestión de mantenimiento proyectos BIM. Fuente: Elaboración propia.

Una vez aprobados el Mapa de servicios, el plan de inversión y el presupuesto anual, se inician las tareas de licitación y contratación de los proveedores. De manera coordinada y supervisada por el cliente se redactarán los pliegos de las bases de licitación, al mismo tiempo que se procederá a la redacción de los contratos. Se establecerá una lista de los posibles proveedores, la cual será revisada por el cliente y adaptada a sus intereses. Una vez finalizado el periodo de recepción de ofertas por parte de los posibles adjudicatarios partícipes de la licitación, se valorarán todas ellas según los puntos de valoración definidos en las bases de licitación. Se redactará un informe de licitación, que se presentará al cliente y donde se propondrá un adjudicatario. El cliente aceptará o propondrá el adjudicatario final de los servicios contratados. Se llevará a cabo la adecuación del contrato y la posterior firma del mismo.

Durante la realización de los trabajos de mantenimiento contratados, se realizarán las reuniones necesarias para la coordinación del seguimiento de los diferentes puntos descritos en el mapa de servicios. Como resultado de las diferentes acciones de coordinación y seguimiento de los objetivos establecidos previamente en el Mapa de procesos, se redactará con una cadencia fijada los informes de seguimiento de *Facility Management*. El informe de seguimiento buscará abarcar todos los temas tratados en el periodo de tiempo, recogiendo también otros puntos anteriores pendientes de ser resueltos. Como estructura general del informe, se proponen los siguientes puntos (32):

- Síntesis
- Mapa de servicios
- Gestión de mantenimiento
- Control económico

- Actas de reunión
- Otros
- Anexos

En el caso de existir obras, se llevará también a cabo su control y seguimiento de los agentes intervinientes con el fin de garantizar una correcta actuación.

Anualmente el equipo de Proyecto se reunirá con el cliente para revisar los objetivos establecidos. Se evaluará el cumplimiento o no, se propondrán nuevas metas y se tomarán medidas correctoras siempre que sea necesario para llegar a los objetivos marcados. Como resultado, se actualizará siempre que sea necesario el mapa de servicios, plasmando en el nuevo los intereses y objetivos actuales.

## 4. CASO PRÁCTICO: VIVIENDA UNIFAMILIAR EN BELLATERRA

### 4.1 Creación modelo BIM: software Revit

#### 4.1.1 Antecedentes del Proyecto

Para la realización de un caso práctico donde puedan ponerse en práctica ciertos de los puntos explicados con anterioridad, tanto del modelado de proyectos como el uso de herramientas y software BIM para extraer información y llevar a cabo parte del control del proyecto, se ha escogido una vivienda unifamiliar ya ejecutada por el despacho *Agustí-Balcells Arquitectos* con fecha de febrero 2007. Resulta conveniente seleccionar un proyecto sencillo, proyectado con herramientas CAD y ya ejecutado por diversos motivos. Por un lado, el objetivo del estudio no es ni diseñar ni dimensionar ningún tipo de elemento, sino representarlo según los planos del *As Built*, prestando especial atención a la parte estructural y algunos elementos arquitectónicos, sin llegar a modificar acabados arquitectónicos ni instalaciones. Más aun, la dimensión de la vivienda unifamiliar permite ya exponer algunos de los pasos y herramientas que ofrece el programa Revit de Autodesk para la representación de modelos.

El proyecto se trata de un edificio situado en la Calle del Pedregal nº18 en Bellaterra, Cerdanyola del Vallés. La vivienda está compuesta por una planta sótano, planta baja y una planta piso, computando una superficie construida de 437m<sup>2</sup> (38).

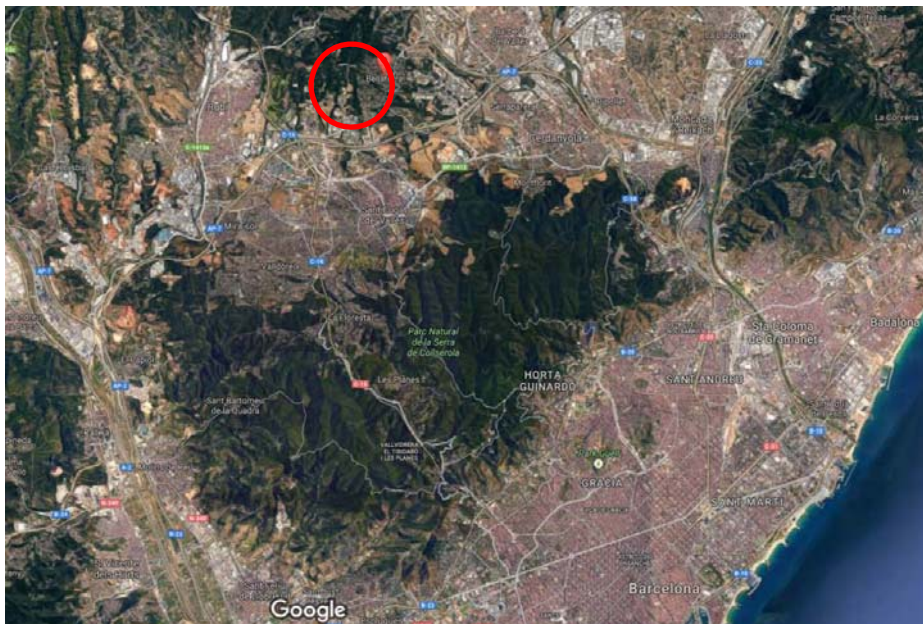


Figura 40. Ubicación Bellaterra, Cerdanyola del Vallés. Fuente: Google Maps.







Figura 42. Estado final de la obra. Fuente: Agustí-Balcells Arquitectos.

Los cerramientos de la fachada se resolvieron mediante fábrica de ladrillo hueco y macizo, que fueron algunas partes revestidas y otras se dejó el ladrillo visto. Los cerramientos interiores, tabiquería interior, se realizó con ladrillo cerámico hueco de 7cm, partes enlucidas con yeso y otras rebozadas con mortero (38).

En el Anexo 8 se adjuntan los planos de estructura del proyecto, realizados por la empresa STATIC Ingeniería, SA.

#### 4.1.2 Creación modelo BIM

A partir de los planos de estructura de la vivienda, compuestos por planta cimentación, forjado sanitario, techo planta sótano, techo planta baja y planta cubierta (adjuntados en el Anexo 8), se prepararon una serie de plantillas en formato CAD para el levantamiento del modelo mediante la herramienta Revit. Consiste en limpiar la hoja del plano, dejando únicamente visible las líneas que definen la estructura, obviando detalles, comentarios y posibles anotaciones que pueda contener el plano. También, es necesario dar a todas las hojas el mismo punto de referencia, para que así, una vez importadas a las vistas del modelo, estén fijadas en el mismo espacio.

Una vez abierto un proyecto nuevo en Revit, se recomienda empezar por la definición de niveles. Los niveles se definen en las vistas de alzado del edificio, encontrándose la opción de introducción de nivel dentro de la misma pestaña de *Estructura* del menú principal. Existen dos tipologías básicas de niveles, por un lado, encontramos aquellos niveles a los cuales va asociado un plano de planta, mostrados en el *Navegador de proyectos* del modelo; y los niveles que no están vinculados a ningún plano, que son empleados en las vistas de alzados como ayuda a la hora de dibujar.

A continuación se muestra una imagen del alzado (vista este) del modelo, donde se pueden observar los distintos niveles empleados para el modelado, acompañados de la cota del mismo.

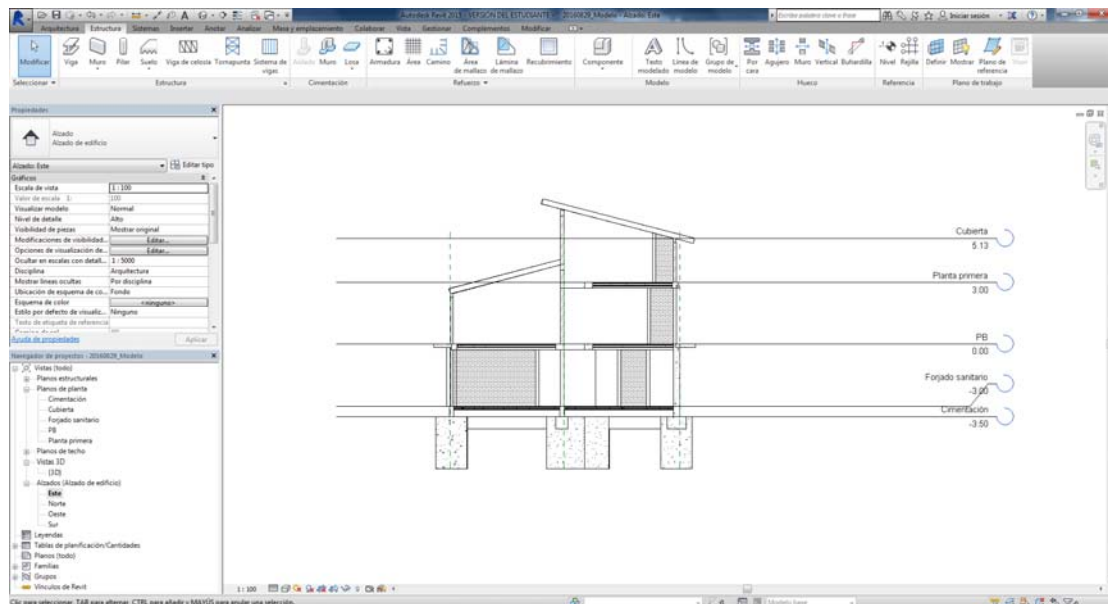


Figura 43. Empleo de niveles para el modelado. Fuente: Captura herramienta Revit.

Una vez definidos los niveles deseados para el modelado de cada una de las plantas, insertamos las plantillas en formato CAD en sus respectivos planos de planta. Para ello, debemos apretar en la pestaña *Insertar* del menú principal y clicar el cursor sobre la pestaña *Importar CAD*. Automáticamente se abre una ventana donde nos da la opción de escoger el archivo *.dwg* deseado. Para una correcta importación de la plantilla al plano de planta de Revit, cabe prestar especial atención a las opciones de importación. Por un lado, debe de aparecer seleccionada la opción de *Solo vista actual*. Las unidades de importación de deben de coincidir con las unidades establecidas en el archivo CAD, siendo en este caso metros. Por último, la posición de importación de la plantilla debe aparecer *Automático – Origen a origen*, de esta manera Revit nos mantiene el eje de referencia de los planos y permite importar otras plantillas en diversas vistas sin perder la referencia.

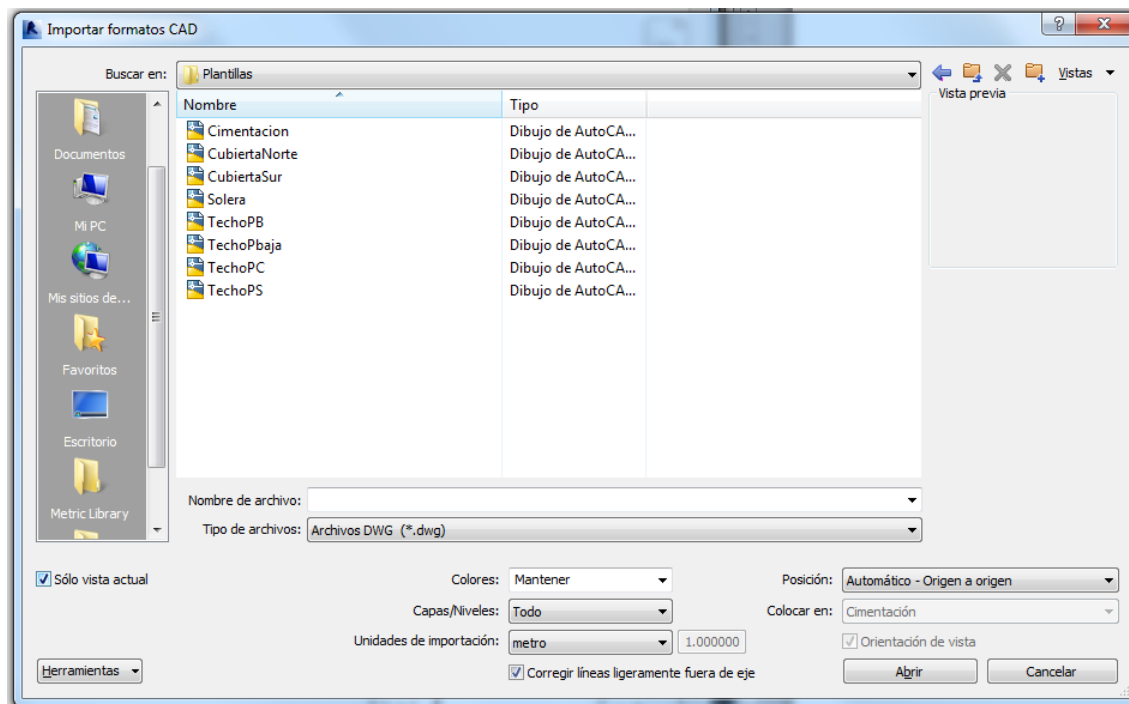


Figura 44. Carpeta con plantillas preparadas para ser importadas a las vistas de planta. Fuente: Captura herramienta Revit.

Una vez tenemos las plantillas ya importadas a cada uno de los planos de planta, es de gran utilidad realizar una comprobación para ver si las plantillas se han colocado correctamente. Mediante la representación de uno o varios planos de referencia, en algún punto común de las distintas plantas de un edificio, como es en este caso las fachadas de la vivienda, podemos comprobar que las plantillas se encuentran bien colocadas. En la figura siguiente (Figura 45) se representan dos planos de referencia en dos vistas distintas que coinciden con las alineaciones de los muros de fachada.

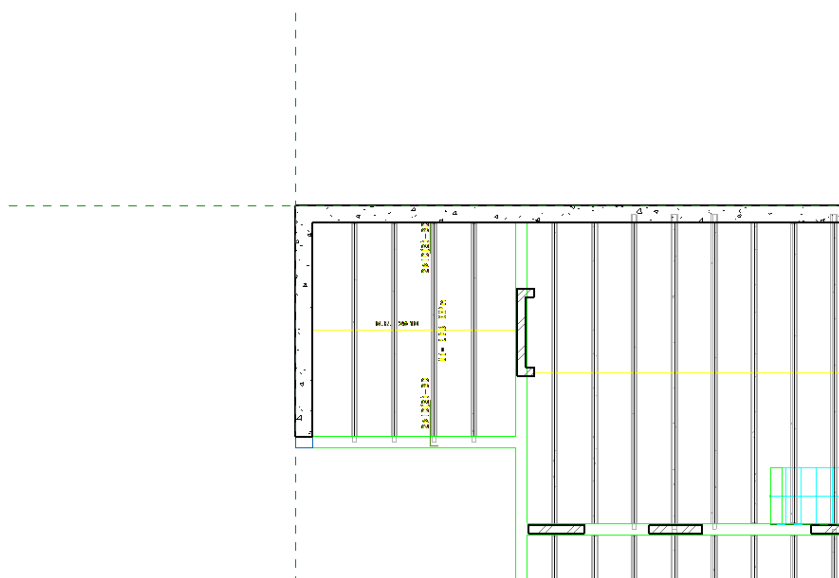
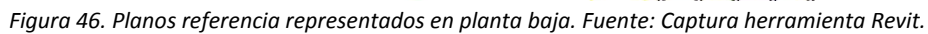


Figura 45. Planos referencia representados en planta forjado sanitario. Fuente: Captura herramienta Revit.



**Cargar familia**

Buscar en: Spain

Nombre	Tipo
Anotaciones	Carpetas de archivos
Almacén estructural	Carpetas de archivos
Bandeja de cables	Carpetas de archivos
Barandillas	Carpetas de archivos
Bloques de título	Carpetas de archivos
Concreción estructural	Carpetas de archivos
Condiciones de contorno	Carpetas de archivos
Conducto	Carpetas de archivos
Conexiones estructurales	Carpetas de archivos
Contrafuerzas estructurales	Carpetas de archivos
Eléctrico	Carpetas de archivos
Elementos de detalle	Carpetas de archivos
Emplazamiento	Carpetas de archivos
Entorno	Carpetas de archivos
Equipos especializados	Carpetas de archivos
Fontanería	Carpetas de archivos
Formas de armadura estructural	Carpetas de archivos
Huecos	Carpetas de archivos
Illuminación	Carpetas de archivos
Masa	Carpetas de archivos
Mecánica	Carpetas de archivos
Mobiliario	Carpetas de archivos
Muebles de obra	Carpetas de archivos
Muros de retención estructurales	Carpetas de archivos
Panel de muro cortina por patrón	Carpetas de archivos
Paneles de muro cortina	Carpetas de archivos
Perfiles	Carpetas de archivos
Pilares	Carpetas de archivos
Pilares estructurales	Carpetas de archivos
Protección contra incendios	Carpetas de archivos
Puertas	Carpetas de archivos
Tubería	Carpetas de archivos
Tubo	Carpetas de archivos

Nombre de archivo:

Tipo de archivos: Todos los archivos compatibles (\*.rfa, \*.acdb)

Herramientas:

85

Suele darse el caso que las características deseadas de un elemento no coinciden exactamente con las ofrecidas por los elementos de la misma plantilla o de la biblioteca. En el caso de Revit, podemos crear nuevos elementos a partir de otros existentes, aprovechando las características físicas deseadas. El caso más usual es cuando se desea dibujar un elemento con dimensiones particulares. En el caso de la cimentación, las zapatas aisladas previstas tenían las siguientes dimensiones 1,5x1,5x0,6 m en la mayoría de casos y luego otras con dimensiones más específicas. Para modelar las zapatas, se seleccionó una de las disponibles en las plantillas y se editó el elemento (*Editar tipo*). En la ventana *Propiedades de tipo*, existe la opción *Duplicar*, que permite dotar de nombre el nuevo elemento y también de las propiedades deseadas. Dicho elemento creado a partir de uno ya existente se guarda automáticamente en la biblioteca de elementos de la plantilla en cuestión.

El modelado de cada una de las plantas resulta fácil y rápido gracias al hecho de emplear ya las plantillas de CAD. En todo caso, cabe mencionar que la metodología usual de un proyecto desarrollado en BIM, modelaría directamente sin el uso de plantillas. En todo caso, como experiencia profesional, existen situaciones en las cuales el uso del BIM no es completo entre todos los agentes implicados en el proyecto y se trabaja en un contexto de metodología tradicional con algunas herramientas BIM. Por ejemplo, es el caso de la empresa STATIC, Ingeniería S.A.; despacho de técnicos de estructuras la cual realiza modelos 3D con la herramienta Revit a partir de los planos en CAD que les envían los proyectistas que no emplean a día de hoy sistemas BIM. En este caso, la empresa decidió levantar de todas formas modelos de aquellos proyectos dibujados en CAD, ya que posteriormente tenían asimilado en su metodología de trabajo el empleo de softwares de cálculo y dimensionamiento de estructuras que permitían la entrada de modelos BIM en formato IFC.

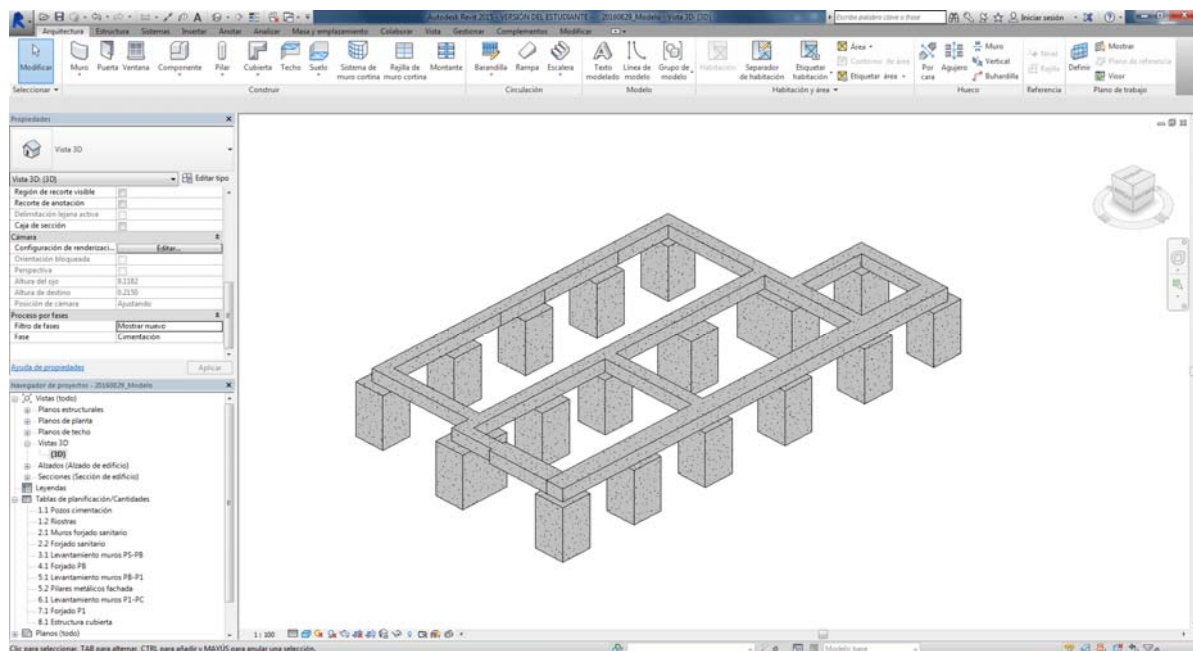


Figura 48. Visualización modelado cimentación. Fuente: Captura herramienta Revit.

Para el levantamiento de los paramentos verticales, en el caso del proyecto en cuestión, muros estructurales de gero de 15cm, resulta muy cómo emplear los niveles y distintas vistas para su



modelado. Tal y como se puede observar en la Figura 49, en la ventana de *Propiedades* del elemento seleccionado, en el caso mostrado un muro de gero de 150mm de ancho, aparecen una serie de *Restricciones*. Es el caso de la *Restricción de base*, que nos da a escoger a qué nivel queremos que se levante el elemento modelado. Sin embargo, para evitar rigideces a la hora de dibujar o el uso de gran cantidad de niveles, existe la posibilidad de introducir desfases respecto al nivel seleccionado, tanto de base como superior. Para acotar el extremo superior del muro, se emplea la *Restricción superior* de Hasta nivel: PB, aunque se añade el *Desfase superior* negativo del canto del forjado de la planta baja.

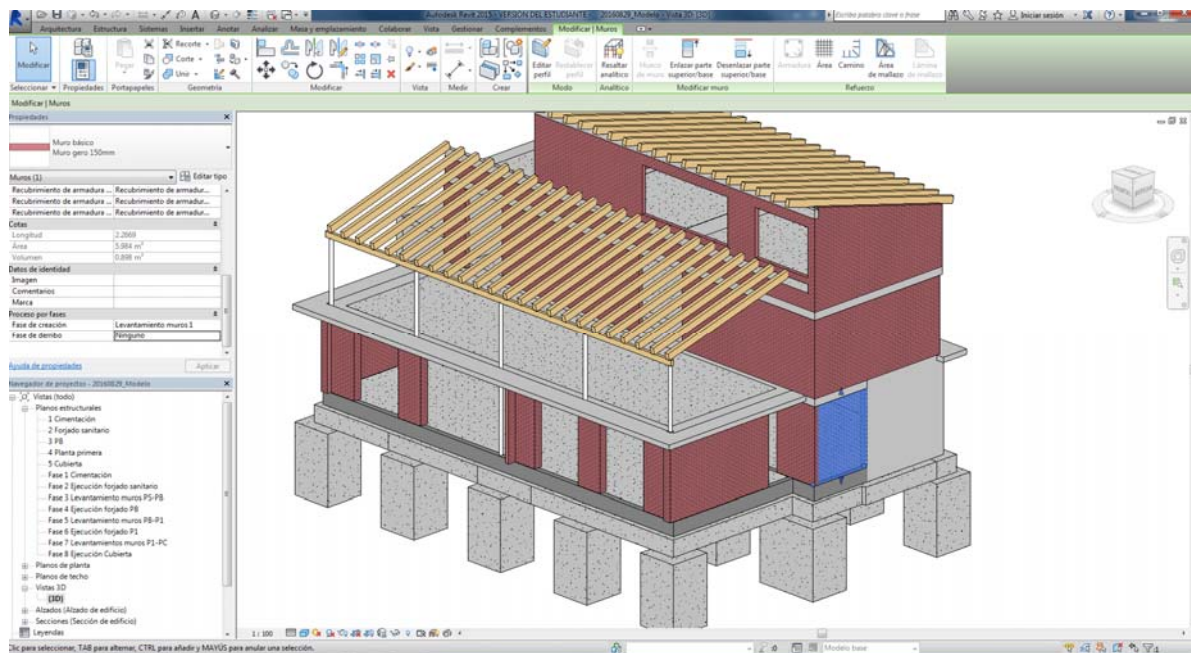


Figura 49. *Propiedades muro básico empleado en modelo. Fuente: Captura herramienta Revit.*

La herramienta Revit permite dibujar elementos con unas propiedades determinadas, tales como dimensiones o restricciones de ubicación, y luego ser copiados y pegados en el mismo modelo. Este hecho simplifica bastante por ejemplo el modelado de viguetas, tanto de forjados o de cubiertas.

Para modelar elementos con inclinaciones, como es el caso de las vigas de madera de las cubiertas, es útil emplear niveles como referencia para establecer diferencia de cotas entre los extremos del elemento y el nivel en cuestión empleado. En el caso de la cubierta de la fachada Sur, se tomó como nivel de referencia la Planta primera (+3.00m), mientras que en el caso de la cubierta de la fachada Norte el nivel definido como Cubierta (+5.13m).

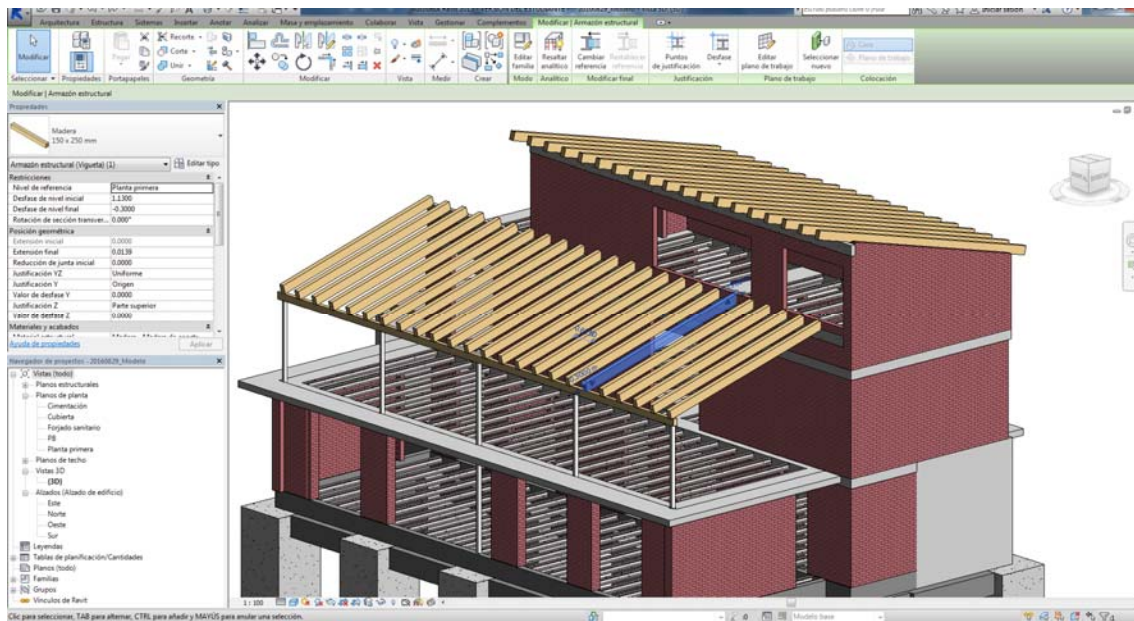


Figura 50. Empleo de propiedades de vigueta de cubierta para su modelado y ubicación. Fuente: Captura herramienta Revit.

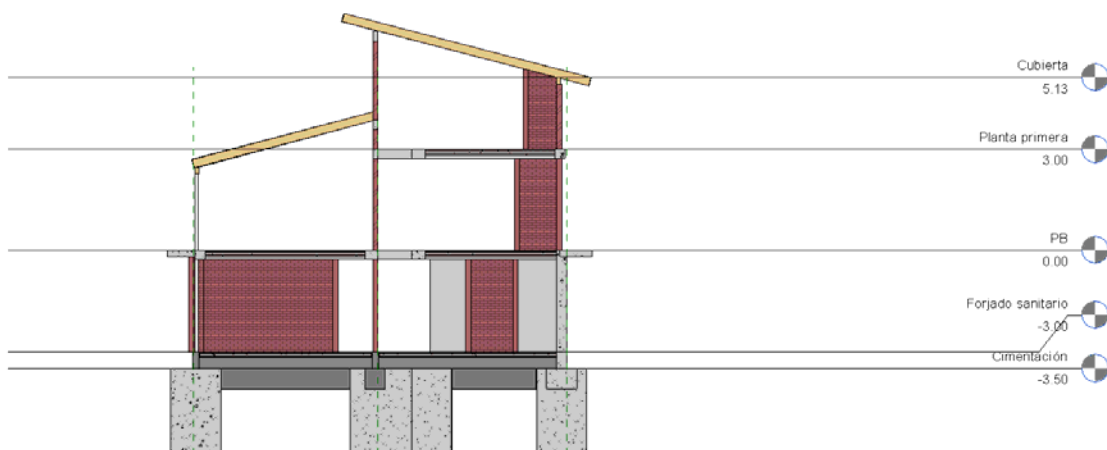


Figura 51. Empleo de niveles para ubicación viguetas inclinadas de cubierta. Fuente: Captura herramienta Revit.

Revit ofrece una opción de visualización muy interesante y útil para la comprobación del modelado. Accediendo a la *Vista 3D* del *Navegador de proyectos*, dentro de la ventana de *Propiedades*, aparece la posibilidad de marcar o desmarcar *Caja de sección*, dentro de la categoría *Extensión*. Aparece pues en la vista las aristas de un prisma que marca el límite de la vista 3D en cuestión. Moviendo los planos que conforman el prisma, podemos buscar intersecciones con nuestro modelo y obtener así una visión clara de aquellos detalles que queramos destacar.



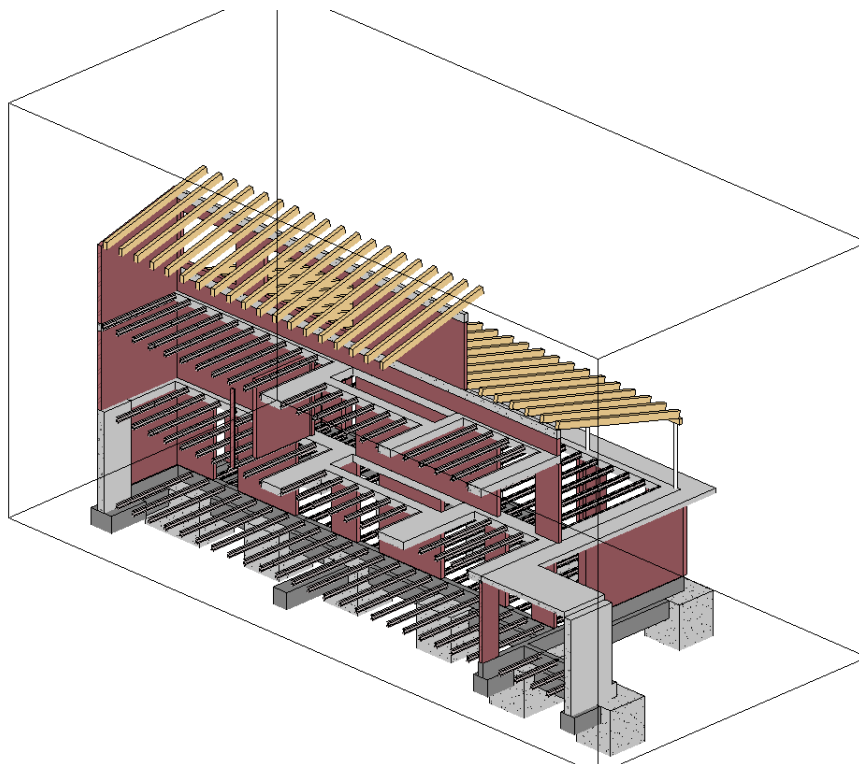


Figura 52. Vista 1 modelo con intersecciones con caja de sección. Fuente: Captura herramienta Revit.

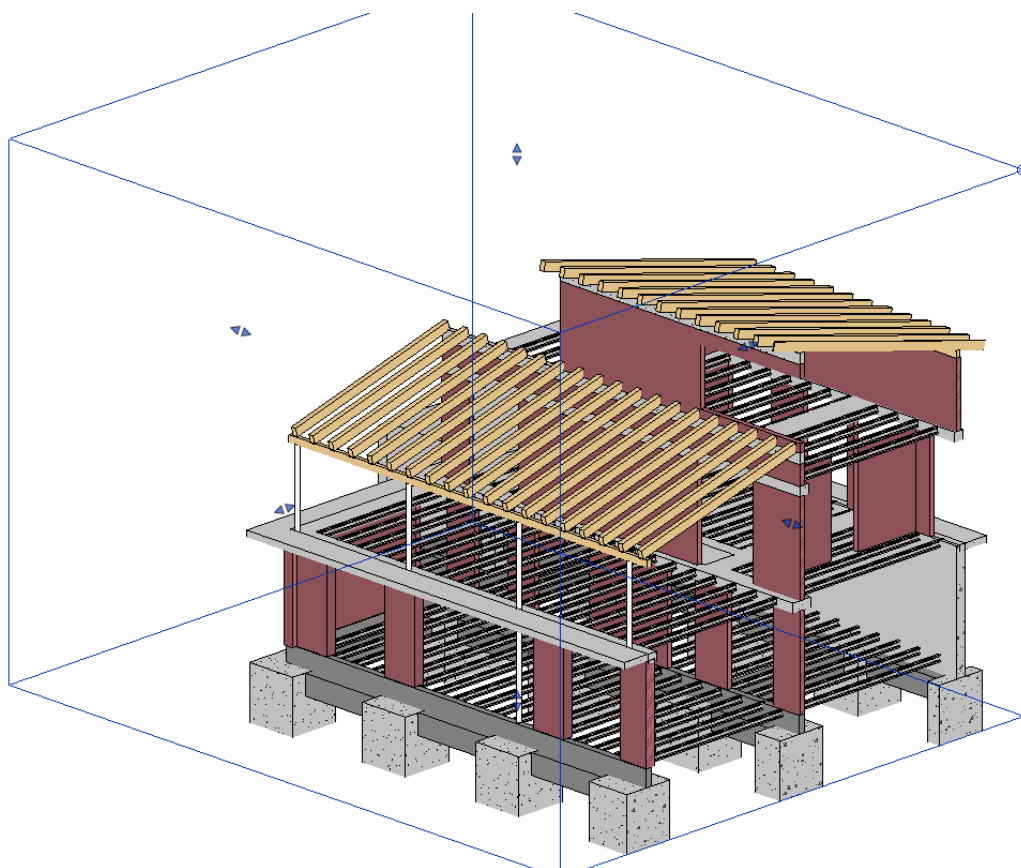


Figura 53. Vista 2 modelo con intersecciones con caja de sección. Fuente: Captura herramienta Revit.

Tal y como se ha explicado con anterioridad, el uso de la metodología BIM en un proyecto permite introducir en nuestro proceso la dimensión del tiempo, control 4D. Las herramientas de modelado permiten indicar cuándo son ejecutados y en qué fases los distintos elementos de un proyecto constructivo. Dicha vinculación es de vital importancia para la planificación de la obra y de esta manera podremos mostrar y ver la evolución de la obra antes de ser construida.

La herramienta Revit permite crear tantas fases de tiempo como queramos, tantas como sean necesarias aplicar al proyecto, existiendo la posibilidad de crear dicha información para la elaboración de planos diferentes para cada una de las fases, siempre dentro del mismo proyecto.

Para la determinación de las fases deseadas a introducir en el modelo, deberemos ir a la pestaña *Gestionar* y dentro del grupo *Proceso por fases* ir a *Fases*. Automáticamente se nos abre una ventana, *Proceso por fases*, con tres pestañas distintas: *Fases del proyecto*, *Filtros de fases* y *Modificaciones de gráfico*.

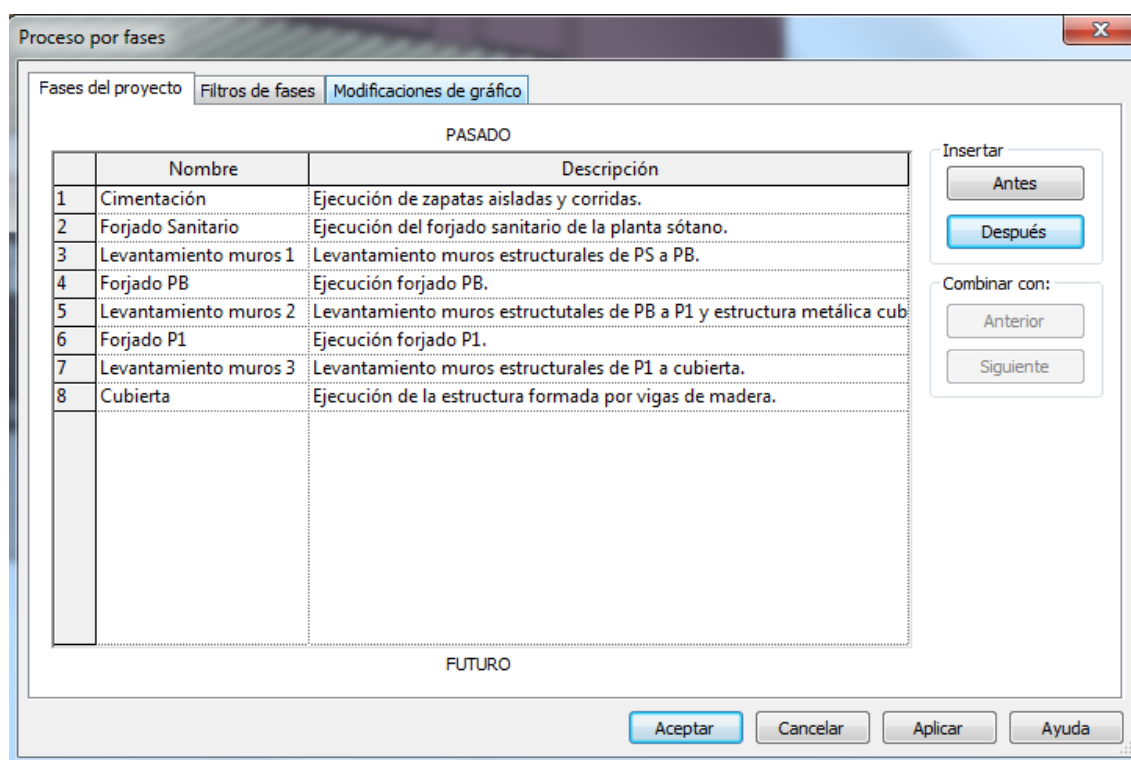


Figura 54. Establecimiento de fases del proyecto. Fuente: Captura herramienta Revit.

Al tratarse de una estructura formada por forjados unidireccionales y muros estructurales, el orden constructivo es inequívoco, iniciando los trabajos desde las cotas más bajas hacia los elementos situados a mayor altura. Tal y como se muestra en la Figura 54 se han establecido 8 fases de proyecto, cuyos nombres y descripciones son editables en cualquier momento (39).

Una vez definidas las fases del proceso de construcción del proyecto, se debe vincular cada uno de los elementos modelados a través del cuadro de *Propiedades*, en el apartado *Proceso por fases*. Allí se puede definir tanto la *Fase de creación* como la *Fase de derribo*. Al tratarse de una obra de nueva construcción y definido el proceso constructivo de la estructura, no es necesario realizar

ningún derribo. Pero, resulta muy interesante en proyectos de rehabilitación modelar tanto los elementos previamente existentes como el diseño final. De esta manera puede dejarse reflejado de manera más clara en qué momento se derriban ciertos elementos y cuáles son ejecutados. Otro caso donde el uso de derribos puede ser útil, es en la ejecución de estructuras complejas, donde sea necesario el uso de elementos constructivos temporales, tales como pilotes, apeos y muros de contención.

En la pestaña *Filtros de fases* podemos escoger las distintas formas en las que podemos representar nuestras vistas, es decir, ofrece opciones de visualización gráfica (grosos de líneas, colores y patrones). Los filtros no se asocian directamente a las fases del proyecto, sino que se adaptan a la fase en la que se encuentra la vista.

Encontramos de manera predeterminada ocho filtros distintos: *Mostrar anteriores + derribados*, *Mostrar anteriores + nuevos*, *Mostrar completo*, *Mostrar derribados + nuevos*, *Mostrar fase anterior*, *Mostrar nuevo*, *Mostrar sólo derribados* y *Mostrar todo*. Para cada uno de los filtros se diferencian cuatro columnas distintas. En la primera tiene como título *Nuevo*, que hace referencia a todo lo que se ha creado en la fase en la que se encuentra la vista. Luego, tenemos *Existente* que vincula a todos los elementos creados en fases anteriores a la fase asociada a la vista. A continuación se encuentra *Derribado*, que corresponde a los elementos creados en fases anteriores, pero que son derribados en la misma fase. Por último, existe la columna *Temporal*, que hace referencia a todos aquellos elementos creados y derribados a la fase asociada a la vista.

Revit permite editar cada uno de los filtros según cada una de las fases de los elementos de una vista (Nuevo, Existente, Derribado y Temporal) mediante las tres opciones siguientes: *Modificado*, *Por categoría* y *No mostrado*. Si se selecciona la opción *Modificado* se usarán los valores gráficos indicados en la pestaña *Modificaciones de gráfico*. En el caso de *Por categoría* el grafiado de los elementos será el indicado a nivel de vista, mientras que la opción *No mostrado* permite ocultar los elementos.

De esta manera se podrán establecer tantos filtros como visualizaciones se requieran. Una vez creados, son guardados y pueden ser utilizados en cualquier otra plantilla de proyecto, ofreciendo un ahorro de trabajo considerable y asegurando el mismo criterio de representación en toda la documentación gráfica elaborada.

En el caso particular del caso de estudio en cuestión, se ha decidido establecer tres tipos de filtros: *Mostrar anteriores + nuevos*, *Mostrar nuevo* y *Mostrar todo* (filtro autodeterminado).

	Nombre de filtro	Nuevo	Existente	Derribado	Temporal
1	Mostrar anteriores + nuevos	Modificado	Por categoría	No mostrado	No mostrado
2	Mostrar nuevo	Por categoría	No mostrado	No mostrado	No mostrado
3	Mostrar todo	Por categoría	Modificado	Modificado	Modificado

Figura 55. Filtros empleados en las visualizaciones del modelo. Fuente: Captura herramienta Revit.

En la siguiente pestaña, *Modificaciones de gráfico*, podemos determinar las características de cada uno de los estados de fase, pudiendo diferenciar el modo de representación tanto para los elementos proyectados en las vistas en planta y sección y tanto para aquellos que son cortados por los planos de vista. En el caso particular del modelo levantado, se ha decidido identificar los elementos existentes con colores grisáceos, mientras que los elementos ejecutados en la fase de la vista se representan con tonos naranjas.

Estado de fase	Proyección/Superficie		Corte		Tramado	Material
	Líneas	Patrones	Líneas	Patrones		
Existente	[Solid Line]	[Solid Pattern]	[Dashed Line]	Oculto	<input type="checkbox"/>	Fase - Existente
Derribado	[Dashed Line]	[Dashed Pattern]	[Dashed Line]	Oculto	<input type="checkbox"/>	Fase - Derribo
Nuevo	[Solid Line]	[Hatched Pattern]	[Solid Line]	[Hatched Pattern]	<input type="checkbox"/>	Fase - Nueva
Temporal	[Dashed Line]	[Hatched Pattern]	[Dashed Line]	[Hatched Pattern]	<input type="checkbox"/>	Fase - Temporal

Figura 56. Modo de representación de los elementos según la fase a la que pertenecen. Fuente: Captura herramienta Revit.

## 4.2 Explotación del modelo BIM

### 4.2.1 Creación de documentación gráfica

A lo largo del presente estudio se ha hecho referencia en distintas ocasiones que uno de los beneficios que aportan las herramientas de modelado BIM, como es el caso de Revit, es la elaboración rápida y sencilla de la documentación gráfica de un proyecto. Esta propiedad de las herramientas BIM comporta una reducción considerable del tiempo dedicado a la elaboración de la documentación gráfica y, sobretodo, de posteriores y numerosas modificaciones que se van realizando hasta la versión definitiva del proyecto.

Se ha aprovechado el modelo levantado en el apartado anterior para emplear como ejemplo la construcción de planos a partir de un único modelo. Se han elaborado dos tipos de planos: los planos de estructura del proyecto y un conjunto de planos que muestran la evolución del proceso constructivo.

Antes de avanzar con la explicación, cabe mencionar que los planos extraídos del modelo no corresponden exactamente a planos aptos para la construcción de la estructura, ya que no contienen ni detalles, ni se identifican los materiales ni se aportan las tablas de propiedades de los elementos según normativa aplicable. Únicamente se representa en los planos vistas en planta acompañadas con anotaciones (cotas) y algunos detalles de secciones. El objetivo de este apartado del trabajo no es obtener unos planos estructurales ejecutivos, sino indicar las pautas básicas para montar planos a partir de un modelo.

Antes de iniciar con la elaboración de planos, cabe preparar la plantilla. Revit pone a disposición del usuario varias plantillas modelo, sin embargo, se ha optado por adaptar una de las ofrecidas. Se han modificado datos informativos de la plantilla, así como también la imagen de la carátula.

En el *Navegador de proyectos* aparece dentro de la rama de *Vistas (todo)* la opción *Planos (todo)*. Apretando el botón secundario nos aparece la opción de crear un nuevo plano. Seguidamente nos preguntará por el cuadro de rotulación (plantilla) deseado, donde tenemos la opción de seleccionar una de las predeterminadas o por el contrario de cargar una plantilla propia.

Posteriormente, el montaje de los planos es tan fácil y sencillo que se resume en arrastrar las vistas de los planos deseados (tanto de vistas de planta o sección) a la plantilla. Una vez arrastrados, podremos modificar su posición, incluir imágenes o incluso redactar textos en la misma plantilla.

En nuestro caso, se han levantado cinco planos de estructura distintos, con la nomenclatura siguiente:

- CIM.1 – Estructura Cimentación
- SAN.1 – Estructura Forjado Sanitario
- PB.1 – Estructura Techo Planta sótano
- P1.1 – Estructura Techo PB
- PC.1 – Planta Cubierta

En el Anexo 9 se adjuntan los planos de estructura elaborados a partir del modelo.

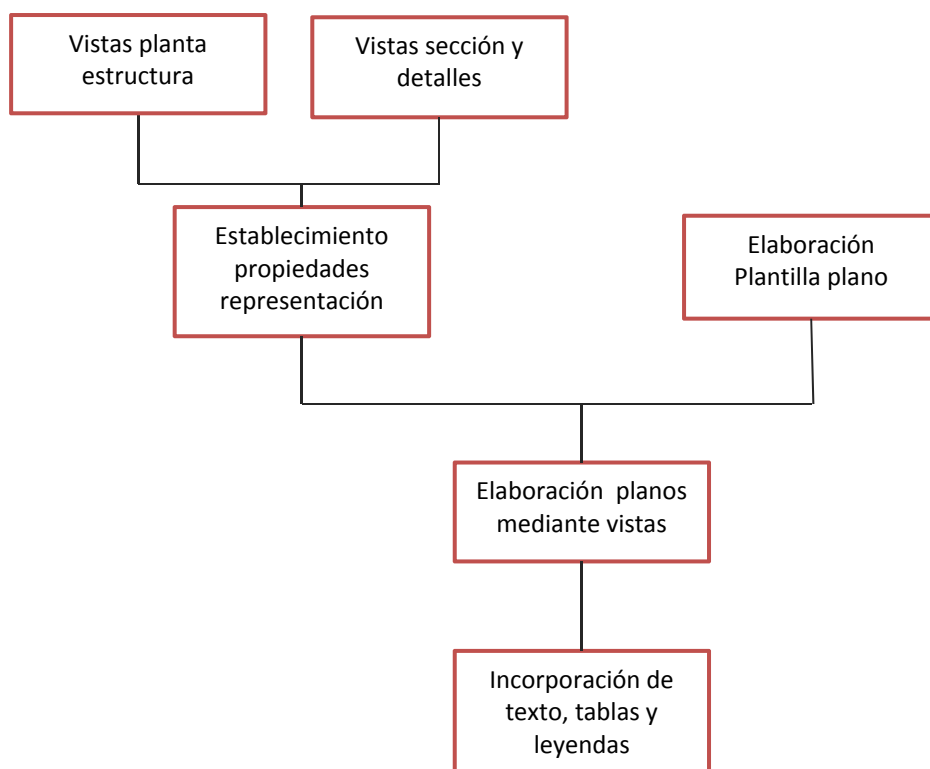


Figura 57. Esquema elaboración planos Revit. Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, tal y como se ha comentado anteriormente, se han elaborado planos del proceso constructivo del proyecto, identificando los elementos ejecutados en cada fase en tonos naranjas. Para ello se han duplicado las vistas de los planos estructurales (sin incluir detalles) para crear las vistas de cada una de las fases del proceso constructivo. Una vez duplicadas, se han empleado las opciones que aparecen en la ventana de *Propiedades*, en el apartado de *Proceso por fases*, estableciendo como *Filtro de fases* mostrar nuevo y en *Fase* la fase que queremos representar en la vista.

Los planos elaborados son los siguientes:

- FASE 1 – Cimentación
- FASE 2 – Ejecución Forjado Sanitario
- FASE 3 – Levantamiento muros PS-PB
- FASE 4 – Ejecución forjado PB
- FASE 5 – Levantamiento muros PB-P1
- FASE 6 – Ejecución forjado P1
- FASE 7 – Levantamiento muros P1-PC
- FASE 8 – Ejecución Cubierta

Se incluyen como documentos adjuntos los planos de las ocho fases en el Anexo 10.

#### **4.2.2 Extracción presupuesto**

En el apartado 2.7.2 Mediciones y control de costes se explicaba que a partir de un modelo BIM es posible llevar a cabo la extracción de mediciones a través de diferentes softwares. Se explica también el procedimiento básico para la extracción de un presupuesto, así como también un conjunto de recomendaciones a tener en cuenta a la hora de extraer datos de los modelos BIM.

Sin embargo, en el presente caso práctico, se llevará a cabo la extracción de mediciones desde la misma herramienta de modelado Revit. Finalmente, se ha decidido por esta opción debido a la falta de conocimiento y experiencia en otros softwares específicos para la extracción de mediciones.

Las partidas y mediciones extraídas no son el objetivo principal de este apartado del caso práctico, pudiendo contener errores y no resultar las tareas exactas a ejecutar, sino es la misma metodología de extracción de las mismas lo que resulta interesante mostrar.

A partir de la Figura 58, se puede obtener una idea principal del procedimiento seguido para la obtención de un presupuesto relativo a las partidas de obra de la estructura del modelo levantado. Tal y como indican las mismas siglas BIM (*Building Information Modelling*) estamos hablando de modelos que contienen elementos paramétricos, enriquecidos con propiedades y datos. Completar las propiedades y características deseadas será el primer paso a realizar.

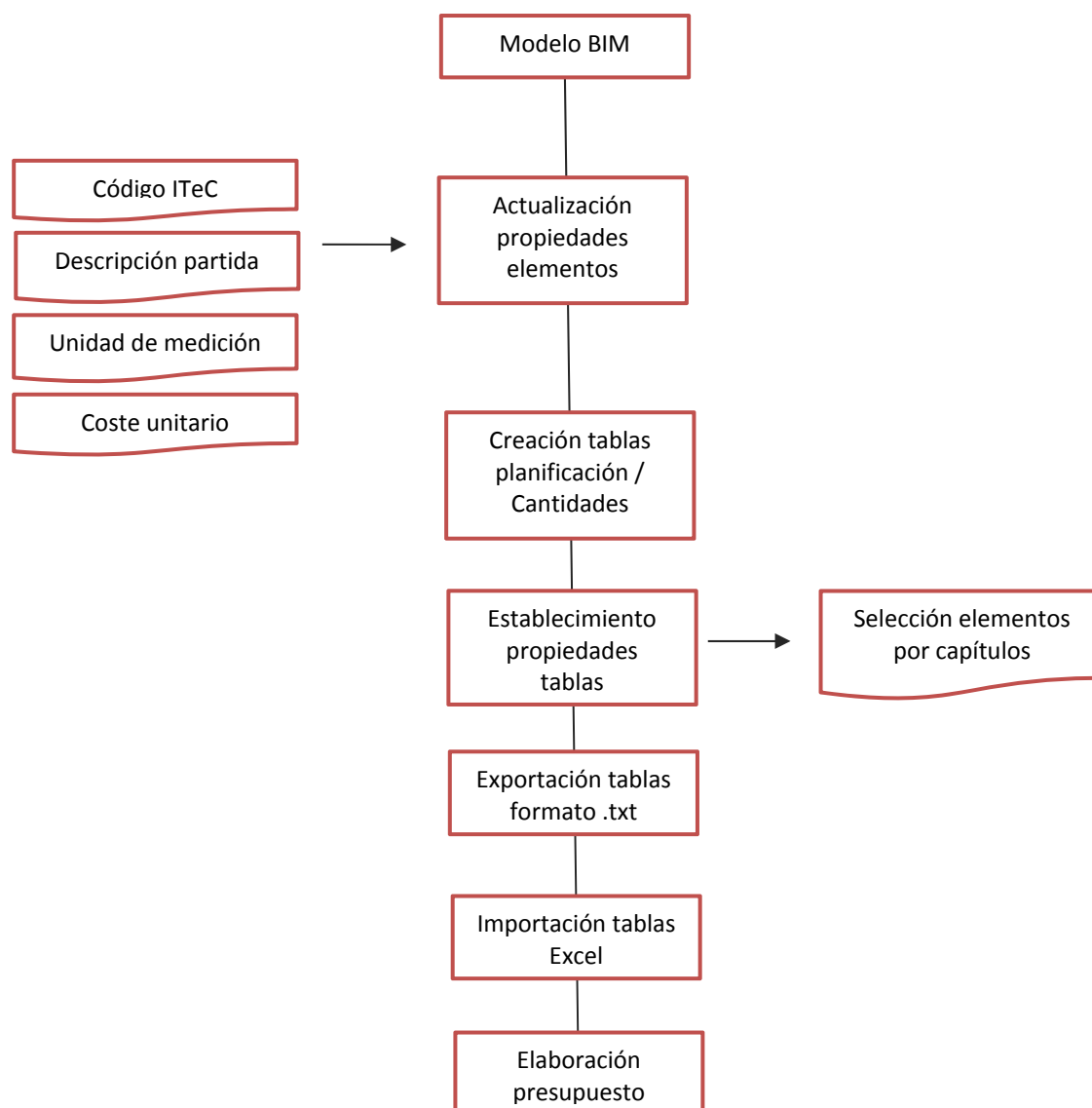


Figura 58. Esquema extracción mediciones modelo Revit. Fuente: Elaboración propia.

Se ha empleado la base de datos BEDEC del ITeC para vincular y exportar información de las partidas deseadas. Seleccionado uno de los elementos a complementar y apretando la opción *Editar Tipo* tenemos la posibilidad de introducir información en el apartado de *Datos de identidad*. Completamos con la información proporcionada por la base de datos del ITeC el código de la partida en la fila *Nota clave*, las unidades del precio unitario en *Comentarios de Tipo*, la descripción de la partida en la misma fila de *Descripción* y el precio unitario en *Costo*.

Propiedades de tipo

Familia: Zapata-Rectangular

Tipo: Pozo cimentación 1.5x1.5x2.5

Parámetros de tipo

Parámetro	Valor
<b>Cotas</b>	
Anchura	1.5000
Longitud	1.5000
Grosor	2.5000
<b>Datos de identidad</b>	
Código de montaje	
Imagen de tipo	
Nota clave	E31521G1
Modelo	
Fabricante	
Comentarios de tipo	€/m <sup>3</sup>
URL	
Descripción	Hormigón para zanjas y pozos de cimentación, HM-20/F/20/I, de cons
Costo	71.98
Descripción de montaje	
Marca de tipo	
Número OmniClass	
Título OmniClass	

<< Vista previa

Aceptar Cancelar Aplicar

Figura 59. Ventana Propiedades de tipo pozo cimentación. Fuente: Captura herramienta Revit.

Posteriormente, una vez complementado las propiedades de tipo de cada uno de los elementos, se inicia con la realización de las Tablas de planificación / Cantidades. Para crear una tabla podemos encontrar la opción en el apartado *Vista* del menú general, en la sección *Crear*. Sin embargo, podemos crear directamente una tabla de planificación yendo al *Navegador de proyectos* y buscando el apartado *Tablas de planificación / Cantidades*.

Una vez creadas, debemos escoger la categoría de la misma, es decir, qué grupo de elementos queremos que contenga la misma. Una vez seleccionada, se nos abre una ventana como la representada en la Figura 60, con las pestañas siguientes: *Campos*, *Filtros*, *Clasificación/Agrupación*, *Formato* y *Aspecto*.

En la primera pestaña se nos da la posibilidad de escoger aquellas columnas que queremos que aparezcan en la tabla creada, así como también el orden de las mismas. En este caso, se han escogido las siguientes: *Nota clave*, *Comentarios de tipo*, *Familia y tipo*, *Descripción*, *Fase de creación*, *Material estructural*, *Volumen o Área* (dependiendo del elemento) y *Costo*.



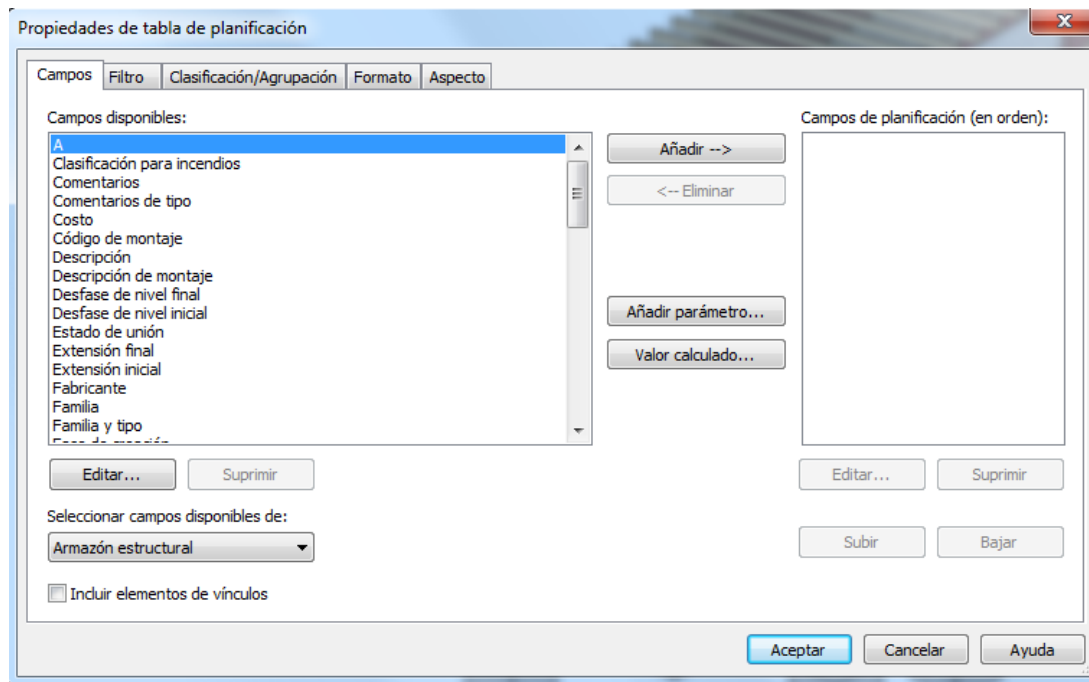


Figura 60. Ventana Propiedades de tabla de planificación. Fuente: Captura herramienta Revit.

En la siguiente pestaña podemos establecer filtros que permiten seleccionar ciertos elementos del conjunto cogidos en la selección general de categorías. En este caso ha sido útil emplear como filtro la fase de creación de los elementos para la creación de los distintos capítulos del presupuesto.

En la pestaña de *Clasificación/Agrupación* hemos establecido como criterio de agrupación la *Familia y tipo* de los elementos constructivos.

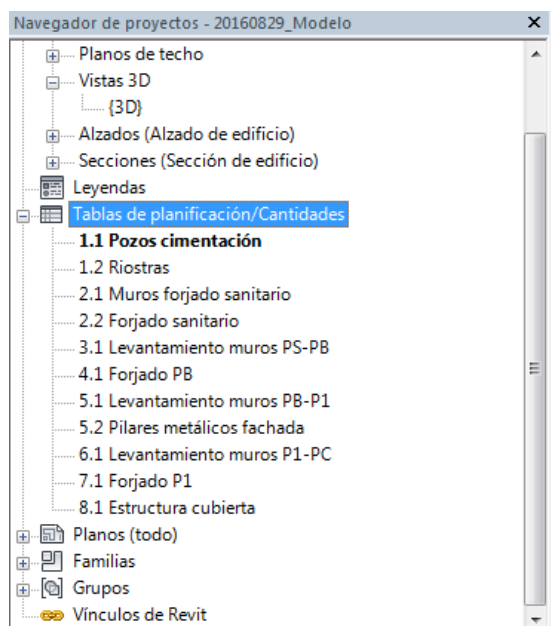


Figura 61. Tablas planificación empleadas para la elaboración del presupuesto. Fuente: Captura herramienta Revit.

Una vez seleccionadas cada una de las opciones de representación de los datos, se han creado el conjunto de tablas que se muestran en la Figura 61. Tal y como se puede apreciar, se ha establecido

un criterio de agrupación muy similar a las fases del proceso constructivo. En la siguiente imagen, Figura 62, se muestra como ejemplo la tabla de planificación 4.1 Forjado PB. En ella se puede observar la distribución del conjunto de columnas que se ha decidido que aparezcan en el presupuesto, otorgando más información que la usual.

<4.1 Forjado PB>							
A	B	C	D	E	F	G	H
Nota clave	Comentario	Familia y tipo	Descripción	Material estructural	Fase de creación	Área	Costo
Suelo: Forjado unidireccional semibiga 22+5							
14LFN78F	€/m²	Suelo: Forjado unidireccional semibiga 2	Forjado de 25+5 cm, para una sobrecarga (uso+permanentes) de 4 a 5	Hormigón - Hormigón moldeado	Forjado PB	14 m²	45.33
14LFN78F	€/m²	Suelo: Forjado unidireccional semibiga 2	Forjado de 25+5 cm, para una sobrecarga (uso+permanentes) de 4 a 5	Hormigón - Hormigón moldeado	Forjado PB	17 m²	45.33
14LFN78F	€/m²	Suelo: Forjado unidireccional semibiga 2	Forjado de 25+5 cm, para una sobrecarga (uso+permanentes) de 4 a 5	Hormigón - Hormigón moldeado	Forjado PB	35 m²	45.33
14LFN78F	€/m²	Suelo: Forjado unidireccional semibiga 2	Forjado de 25+5 cm, para una sobrecarga (uso+permanentes) de 4 a 5	Hormigón - Hormigón moldeado	Forjado PB	70 m²	45.33
Suelo: Losa 180 mm							
145C3172	€/m²	Suelo: Losa 180 mm	Losa de hormigón armado, horizontal, de 20 cm de espesor, con montaj	Hormigón, moldeado in situ	Forjado PB	22 m²	74.95
145C3172	€/m²	Suelo: Losa 180 mm	Losa de hormigón armado, horizontal, de 20 cm de espesor, con montaj	Hormigón, moldeado in situ	Forjado PB	36 m²	74.95
Suelo: Losa 270 mm							
145C2173	€/m²	Suelo: Losa 270 mm	Losa de hormigón armado, horizontal, de 25 cm de espesor, con montaj	Hormigón, moldeado in situ	Forjado PB	33 m²	85.52

Figura 62. Ejemplo Tabla planificación/Cantidades. Fuente: Captura herramienta Revit.

Para llevar a cabo la exportación de las tablas a la herramienta Excel, es necesario ir a buscar la opción *Exportar* que se encuentra en el desplegable del logo de Revit habiendo anteriormente seleccionado la tabla a exportar. Una vez seleccionada la opción *Exportar*, debemos escoger *Informes*, concretamente, *Tabla de planificación*. Revit permite exportar las tablas en formato *.txt*, que es fácilmente abierto desde una hoja de cálculo.

Una vez exportadas a Excel una a una las tablas de planificación, se ha montado en una hoja a parte un presupuesto orientativo de las obras relativas a la estructura del modelo, que se adjunta en el presente documento en el Anexo 11. Como ya se ha comentado antes, el objetivo de este apartado no es elaborar un presupuesto ceñido a las obras realmente previstas, sino mostrar con un ejemplo una de las posibles alternativas que existen para extraer mediciones de un modelo BIM.

### 4.2.3 Vinculación modelo con planificación ejecución obra

Una de las herramientas básicas para llevar a cabo la gestión de proyectos son las tablas de planificación. Existen diferentes modelos o diagramas de planificación como el diagrama de Gantt o el método Pert, empleados también para la planificación y control del desarrollo de tareas empresariales e industriales.

En nuestro caso, se ha optado por la realización de una planificación simple y lo más objetiva a la realidad de las tareas y actividades constructivas (abarcando únicamente los elementos estructurales definidos) para el levantamiento de la vivienda unifamiliar modelada. En un primer paso, se empleó el software *Microsoft Project* para realizar un diagrama de barras o de Gantt. Más adelante, se ha hecho uso del software *Navisworks Manage*, de *Autodesk*, para realizar una vinculación de la planificación con el modelo creado con la herramienta Revit.

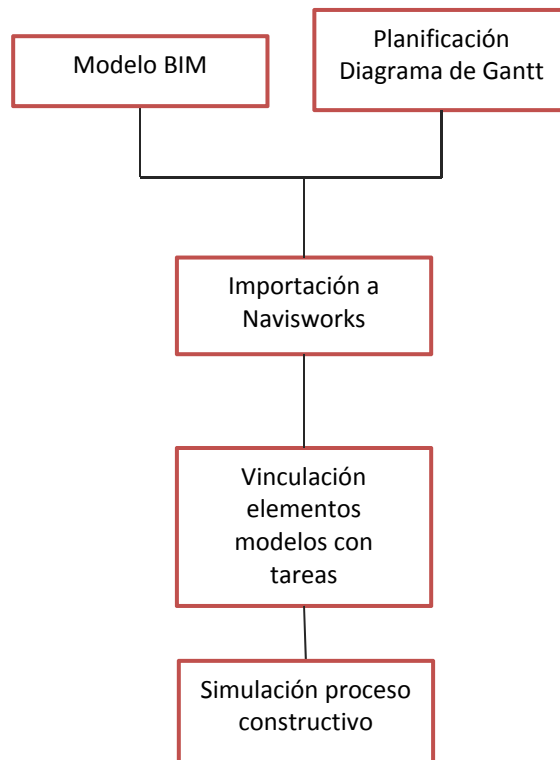


Figura 63. Esquema obtención simulación proceso constructivo. Fuente: Elaboración propia.

*Microsoft Project* es una herramienta de fácil uso y aprendizaje que permite elaborar entre otras cosas diagramas de Gantt. Para elaborar la planificación del proceso constructivo relativo a las obras de estructura empleado como caso práctico, se han descompuesto en orden cronológico las tareas a realizar, agrupándolas en fases. A las tareas identificadas se les ha dotado de una fecha de comienzo y fin, a través de la incorporación de una duración de cada tarea. La herramienta también permite establecer relaciones entre tareas, tales como la definición de tareas predecesoras, superpuestas y con holguras.

Una vez establecidas las tareas, su duración y las relaciones establecidas entre ellas, se ha identificado con colores distintos las barras de las tareas según el siguiente criterio: trabajos previos (verde), ejecución de elementos de estructura horizontal (azul), elementos estructurales verticales (rojo) y, por último, elementos de la cubierta (morado). Se adjunta en el Anexo 12 la planificación elaborada a partir de la herramienta *Microsoft Project*.

Seguidamente se ha empleado el software *Navisworks Manage*, herramienta de Autodesk para la visualización de modelos BIM. Es una herramienta básica para la figura del *Project Manager*, ya que en la misma es posible visualizar el modelo, obtener las propiedades de los elementos, encontrar colisiones entre elementos, vincular planificaciones... Tiene un gran repertorio de utilidades y, todo ello, sin ser necesaria la conversión del archivo Revit a IFC para su utilización en *Navisworks*.

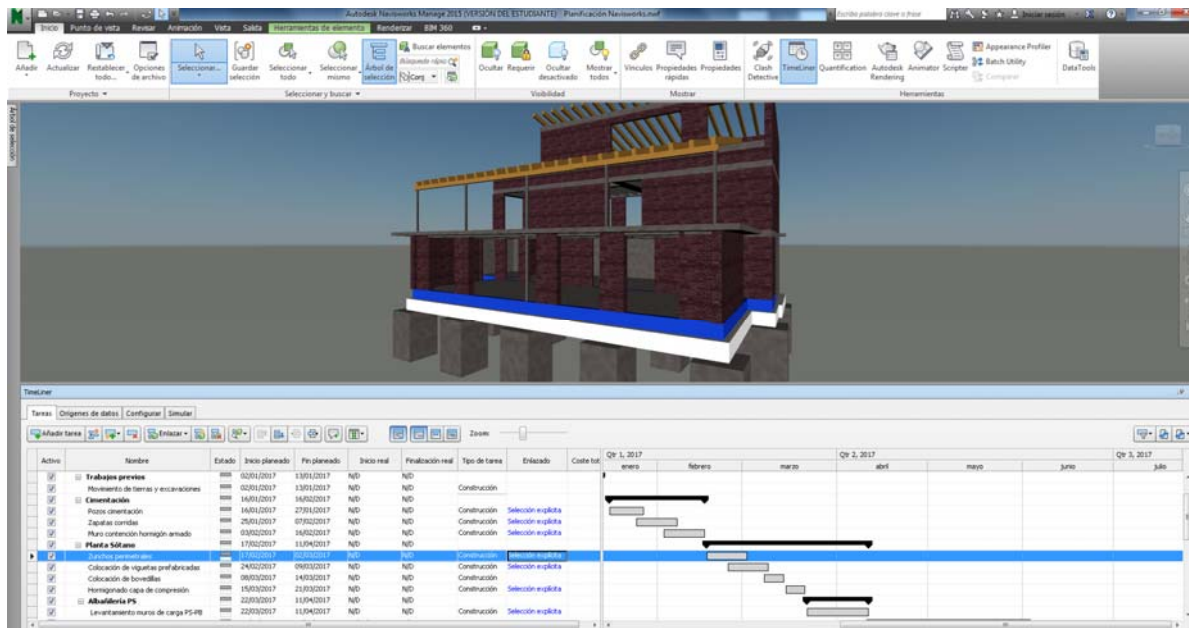


Figura 64. Vista software Navisworks Manage. Fuente: Captura herramienta Navisworks.

En primera instancia, se ha importado y vinculado el modelo Revit a *Navisworks*. En consiguiente, con el fin de mostrar alguna de las posibilidades que ofrece este software BIM, se ha optado por vincular el modelo dibujado a una planificación, en este caso a la realizada a través del Microsoft Project. Para ello, en la misma pestaña de *Inicio* se muestra la opción *Time Liner*. Accediendo a ella se nos abre una ventana en la parte inferior de la pantalla, con un menú con cuatro pestañas: *Tareas*, *Orígenes de datos*, *Configurar* y *Simular*.

Dentro de la opción *Orígenes de datos* se nos da la opción de añadir una planificación. Automáticamente, se abre un desplegable con distintas opciones de formatos de archivos a importar. En nuestro caso, escogemos *Microsoft Project 2007-2013* y buscamos el archivo en la carpeta adecuada.

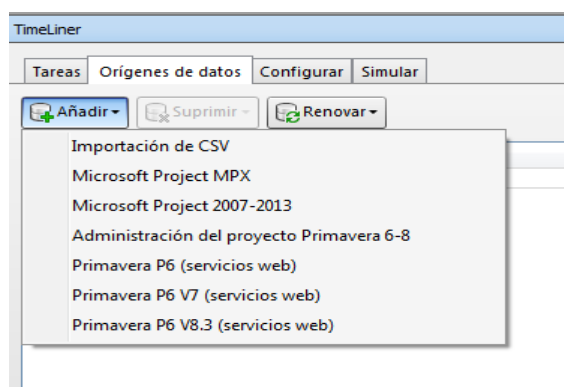


Figura 65. Menú Time Liner herramienta Navisworks. Fuente: Captura herramienta Navisworks.

Aparecen pues los datos del archivo cargado y damos a la opción de renovar. De esta manera, si cambiamos a la pestaña *Tareas* encontramos el mismo conjunto de rutinas establecidas en la planificación de *Microsoft Project*. Para poder llevar a cabo la simulación del proceso constructivo del modelo, es necesario vincular cada uno de los elementos modelados con las tareas. Tal y como

se muestra en la Figura 66, aparece una columna con el título *Enlazado*, que indica y representa en el modelo qué elementos están enlazados con la tarea en cuestión.

Activo	Nombre	Estado	Inicio planeado	Fin planeado	Inicio real	Finalización real	Tipo de tarea	Enlazado	Coste total
<input checked="" type="checkbox"/>	Nuevo origen de datos (base)		02/01/2017	04/07/2017	17/09/2016	N/D			
<input checked="" type="checkbox"/>	Proyecto Vivienda unifamiliar		02/01/2017	04/07/2017	17/09/2016	N/D			
<input checked="" type="checkbox"/>	Estructura		02/01/2017	04/07/2017	17/09/2016	N/D			
<input checked="" type="checkbox"/>	Trabajos previos		02/01/2017	13/01/2017	N/D	N/D			
<input checked="" type="checkbox"/>	Movimiento de tierras y excavaciones		02/01/2017	13/01/2017	N/D	N/D	Construcción		
<input checked="" type="checkbox"/>	Cimentación		16/01/2017	16/02/2017	N/D	N/D			
<input checked="" type="checkbox"/>	Pozos cimentación		16/01/2017	27/01/2017	N/D	N/D	Construcción	<a href="#">Selección explícita</a>	
<input checked="" type="checkbox"/>	Zapatas corridas		25/01/2017	07/02/2017	N/D	N/D	Construcción	<a href="#">Selección explícita</a>	
<input checked="" type="checkbox"/>	Muro contención hormigón armado		03/02/2017	16/02/2017	N/D	N/D	Construcción	<a href="#">Selección explícita</a>	
<input checked="" type="checkbox"/>	Planta Sótano		17/02/2017	11/04/2017	N/D	N/D			
<input checked="" type="checkbox"/>	Zunchos perimetrales		17/02/2017	02/03/2017	N/D	N/D	Construcción	<a href="#">Selección explícita</a>	
<input checked="" type="checkbox"/>	Colocación de viguetas prefabricadas		24/02/2017	09/03/2017	N/D	N/D	Construcción	<a href="#">Selección explícita</a>	
<input checked="" type="checkbox"/>	Colocación de bovedillas		08/03/2017	14/03/2017	N/D	N/D	Construcción		

Figura 66. Visualización tareas y propiedades en Navisworks. Fuente: Captura herramienta Navisworks.

Resulta interesante y permite ahorrar mucho tiempo emplear la opción *Árbol de selección* de la pestaña *Inicio* del menú principal de *Navisworks*. En el margen izquierdo nos aparece el mismo listado de los planos de estructura empleados para el levantamiento del modelo. Dentro de cada uno de ellos, tal y como se muestra en la Figura 67, aparecen un desplegable con las familias de los elementos empleados en cada uno de los niveles y dentro de cada uno de ellos los elementos empleados. De esta manera podemos realizar la selección de elementos a enlazar con cada una de las tareas de manera fácil y rápida

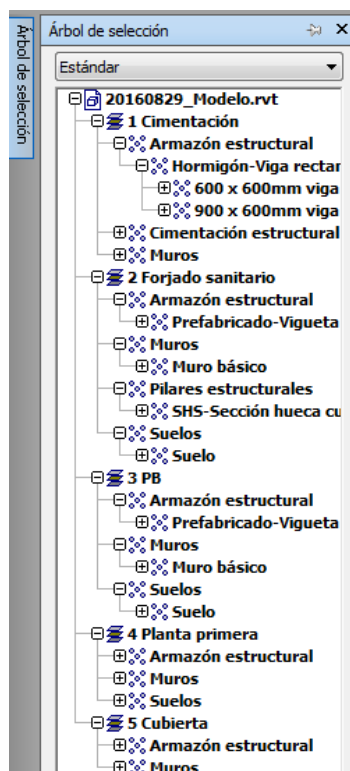


Figura 67. Árbol de selección herramienta Navisworks. Fuente: Captura herramienta Navisworks.

Para la correcta visualización de la simulación del modelo, es necesario especificar previamente el *Tipo de tarea* del cual se trata, *Construcción*, *Demoler* y *Temporal*. En nuestro caso, asignamos a todas las tareas *Construcción*. Con tal de definir y personalizar la representación de los elementos en la simulación, dentro de la barra del *Time Liner*, en la pestaña *Configurar*, podemos escoger el aspecto de los elementos según Tipo de tarea. En la Figura 68 se muestra la ventana mencionada anteriormente.



Figura 68. Configuración visualización simulación Navisworks. Fuente: Captura herramienta Navisworks.

Una de las características que presenta *Navisworks* es que da la opción de ir actualizando la sincronización del modelo. De esta manera, cuando se realicen modificaciones tanto en el modelo de Revit o en la planificación mediante diagrama de Gantt de Microsoft Project, podremos actualizar los mismos desde *Navisworks* gracias a la opción actualizar.

En el Anexo 13 se adjuntan una secuencia de fotografías capturadas durante la simulación del proceso constructivo del modelo. Se representa en verde transparente aquellos elementos que están en proceso de ejecución, mientras que los ya ejecutados quedan representado con el aspecto del modelo.

## 5. CONCLUSIONES

### 5.1 Aportaciones del BIM a la redacción y ejecución de Proyectos

A lo largo del estudio se han enunciado y destacado múltiples beneficios y facilidades que aporta el sistema BIM a los trabajos dedicados a la redacción de proyectos constructivos. De forma general, la utilización del BIM permite extraer y elaborar una documentación de mayor precisión y valor añadido. Seguimos trabajando con distintos documentos separados, tales como la documentación gráfica, las memorias y las mediciones, pero es un único modelo BIM quien alimenta los mismos, reduciendo considerablemente las posibles incongruencias que pudiera haber en los distintos documentos. Al mismo tiempo se consigue optimizar el tiempo gracias a poder dar múltiples usos al mismo modelo 3D, dentro de un entorno colaborativo.

Se ha hecho especial mención en distintos puntos del proyecto, que el objetivo principal de la aplicación del BIM en proyectos es la reducción de costes y un control más detallado de los mismos. Son varias las causas por las que el BIM es capaz de disminuir costes, pero la piedra angular de las mismas es la detección de posibles problemas gracias a la simulación del proceso constructivo del proyecto. La simulación de la construcción de las obras vinculada a una planificación permite determinar tanto incompatibilidades constructivas como también la oportunidad de realizar tareas de manera superpuesta. Un buen estudio y desarrollo del proyecto en la fase de diseño permite anticiparse a los posibles problemas que puedan darse más adelante en la fase constructiva de la obra.

En cierto modo, resulta interesante plantearse si por alguna razón u otra, la evolución e implementación del BIM va encaminada más a las tareas de diseño o si por lo contrario a las de construcción, o viceversa. De la opinión de profesionales expertos, todos coinciden que el BIM tiene mucho recorrido y aún más que aportar tanto a los equipos de trabajo dedicados a las fases de diseño y construcción. Actualmente, se puede afirmar de manera generalista, que la implantación del BIM se está desarrollando de manera gradual y lineal principalmente en estudios de arquitectura e ingeniería, pero que son cada vez más las constructoras y propiedades que empiezan a solicitar el uso del BIM en sus necesidades. Una de las razones de la implementación experimentada hasta día de hoy reside en que los despachos de diseño, al estar más tecnificados, implantarán el BIM antes que las empresas constructoras, aunque son éstas las que les podrán sacar a la larga un mayor provecho.

La gran mayoría de los profesionales que aplican a día de hoy metodología BIM en sus proyectos dudan que tanto los sistemas BIM como el sistema tradicional basado en el CAD puedan coexistir al mismo tiempo. El avance y desarrollo tanto de herramientas y softwares, como la implementación del tipo *Up-Bottom* harán que los sistemas CAD vayan dejando paso a los programas de modelado BIM. Sin embargo, la expansión y el auge que han mostrado los sistemas CAD pone en duda que lleguen a desaparecer en un corto y medio plazo de tiempo. Sí que resulta posible que las herramientas CAD recuperen su función esencial, que es la delineación y no la construcción virtual.

## 5.2 Limitaciones

Pero esta nueva revolución del mundo del diseño y construcción liderada por los sistemas BIM, traen consigo gran cantidad de limitaciones inherentes a la metodología, las cuales pueden repercutir durante el proceso de difusión e implementación en un incremento desmesurado de los costes y pérdida de eficiencia de los equipos técnicos.

El BIM como metodología nueva y que abarca básicamente todos los ámbitos del sector de la construcción, deja grandes deficiencias y cuestiones por definir, que deben ser poco a poco repartidas entre los diferentes agentes participantes de un proyecto. De ahí nace uno de los principales problemas del BIM, que es la redistribución del esfuerzo entre los agentes involucrados en un proyecto. Sirve como ejemplo de la falta de experiencia del uso del BIM, el hecho de que algunas administraciones y clientes exijan el mayor nivel de BIM tanto a las ingenierías como a estudios de diseño al mismo precio que se recompensa un proyecto desarrollado con la metodología actual.

Desde el punto de vista de la propiedad, la aplicación del BIM permite reducir los costes de obra, gracias a poder anticiparnos mediante la construcción virtual y así evitar situaciones no previstas en obra. Sin embargo, este ahorro que repercute en la propiedad no repercute a día de hoy en los agentes que participan en el diseño y construcción.

Por otro lado, el uso del BIM exige el uso de gran número de herramientas y softwares, así como saber cuáles de ellas emplear para el desarrollo de las tareas de los profesionales. Son herramientas que exigen inversiones importantes tanto en la adquisición de softwares como también en la actualización de equipos informáticos lo suficientemente potentes para soportar tal cantidad de información.

La formación a recibir depende drásticamente de la disciplina del agente en cuestión. Por un lado, serán los equipos de diseño quienes deberán aprender a modelar, complementar con datos el modelo y extraer todos los documentos requeridos. Por otro lado, como es el caso del *Project Manager*, tal y como se ha visto en el capítulo 3, deberá tener habilidades principalmente con herramientas de visualización de modelos y simulación de procesos constructivos, pero al mismo tiempo deberá ser conocedor de las diferentes herramientas empleadas por el resto de agentes, así como también dominar la metodología y documentos de trabajo requeridos por el sistema BIM. Generalmente será necesario acudir a profesionales que nos aconsejen qué herramientas emplear y cómo llevar a cabo un proceso de formación de las mismas.

Sin duda, el BIM tiene todas las bazas para ganar y superar al CAD, dejando a muchos profesionales huérfanos de sus herramientas que han empleado durante su etapa profesional. Sin embargo, tal y como expresan agentes conocedores del BIM, es una metodología que está enfocada tanto a las nuevas generaciones de profesionales como también a los actuales grupos de trabajo. En cierto modo, podemos prever que las nuevas generaciones aportarán más dominio y metodología a los equipos técnicos, careciendo al mismo tiempo de experiencia. Serán pues los actuales grupos de trabajo quienes aportarán experiencia propia y permitirán exponer sus metodologías de trabajo



funcionales que pueden ser combinadas y mejoradas con el BIM. Suponemos que los equipos técnicos de trabajo serán mixtos, incluyendo a ambas partes.

### 5.3 Implementación del BIM en el Project Management

En el capítulo 3 se ha buscado desarrollar de manera entendible el nuevo rol y función del *Project Manager* dentro de las diversas tareas de la gestión integrada de proyectos. Por un lado, existe un cambio radical importante respecto a la metodología tradicional de trabajo ya que ahora el *Project Manager* asume como responsabilidad la preparación de las bases de la implementación BIM en el proyecto, basado en el *BIM Project Executive Plan*.

La creación del documento en cuestión no es un mero formalismo de la profesión, sino que es la pieza clave para el buen desarrollo del Proyecto. Exige entre otras cosas conocimiento y experiencia con herramientas BIM, garantizar la comunicación y ser ejemplo de liderazgo, así como también conocimientos y criterios técnicos. Su mayor papel dentro de la organización y gestión del proyecto e incremento de las actividades donde participa la figura del *Project*, hace que se busque formar equipos con perfiles complementarios, donde cada uno de ellos domine más alguno de los ámbitos de la gestión de la obra.

Por otro lado, la implementación del BIM en proyectos da lugar a gran cantidad de documentación y datos que debe ser bien ordenada y empleada, para que puede ser también empleada en otras fases posteriores del proyecto, tales como la gestión de la explotación y del mantenimiento.

En resumen, a lo largo del trabajo se proponen distintos procedimientos de trabajo y documentación relativa a los mismos que marcan las pautas de funcionamiento de la figura del *Project Manager* desde la concepción del diseño hasta la misma explotación de la obra. Sin embargo, cabe recordar que la metodología propuesta está basada principalmente en la propia experiencia adquirida durante el último año, cuando se he podido trabajar y colaborar en proyectos como *Project Manager*, y no es de expreso seguimiento.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. López, Rafael Riera. Definición y objetivos del BIM, Introducción, BIM A0. Introducción al BIM. s.l. : Zigurat.
2. Orígenes e historia, Introducción, BIM A0. Introducción al BIM. s.l. : Zigurat.
3. Archigraphic. [En línea] 20 de April de 2015. <http://wordpress.archigraphic.de/en/2015/04/20/bim-vs-hoai/>.
4. Cámara, Carlos. Prezi. [En línea] 13 de Marzo de 2013. <https://prezi.com/qqt27qgtssc/introduccion-al-bim/>.
5. arquipARADOS. [En línea] <http://www.arquiparados.com/t583-cad-vs-bim-quien-ganara-esta-guerra>.
6. López, Rafael Riera. Contexto internacional, Introducción, BIM A0. Introducción al BIM. s.l. : Zigurat.
7. Fomento, Ministerio de. esBIM. [En línea] <http://www.esbim.es/es-bim/mision/>.
8. esBIM. [En línea] <http://www.esbim.es/es-bim/operativa/>.
9. esBIM. [En línea] <http://www.esbim.es/es-bim/comite-tecnico/>.
10. esBIM. [En línea] <http://www.esbim.es/descargas/>.
11. Submmit, European. Manifiesto BIMCAT Barcelona 2015. [En línea] 20 de 01 de 2016. <http://europeanbimsummit.com/wp-content/uploads/2014/10/Manifiesto-BIMCAT-Barcelona.pdf>.
12. Sostenibilitat, Departament de Territori i. [En línea] 15 de Juny de 2016. [http://territori.gencat.cat/ca/detalls/Article/ICGC\\_BIM](http://territori.gencat.cat/ca/detalls/Article/ICGC_BIM).
13. Succar, Bilal. BIM Think Space. [En línea] 12 de Noviembre de 2015. <http://www.bimthinkspace.com/spanish/>.
14. Di Maggio, P. J. & Powell, W. W. The iron cage revisited: Institutional isomorphism and collective rationality in organization fields. 1983.
15. Fomento, Ministerio de. esBIM. [En línea] <http://www.esbim.es/faqs/>.
16. López, Rafael Riera. BIM Levels o Niveles del BIM, Introducción, BIM A0. Introducción al BIM. s.l. : Zigurat.
17. S-BIM para la docencia de estructuras de edificación. Liébana, O. & Gómez, M. Valencia : s.n., 12-13 junio 2013. pág. III Jornadas Internacionales de enseñanza de la Ingeniería Estructural de ACHE.
18. Lozano, Jose Antonio. Ayudas orientadas a la realización de Trabajos de Fin de Grado y Máster coordinados de especial relevancia para la UCLM.
19. López, Rafael Riera. Trabajo Colaborativo, BIM A.0 Introducción al BIM. s.l. : Zigurat.
20. BuildingSMART. BIM para Mantenimiento y Operaciones. s.l. : Guía de usuarios BIM, 2014. Documento 12.
21. Part 4: fulfilling employer's information exchange requirements using COBie. Collaborative production of information. septiembre 2014.
22. López, Rafael Riera. Modelado Digital 3D, Capacidades tecnológicas del BIM, BIM A.0 Introducción al BIM. s.l. : Zigurat.
23. McPhee, Antony. PracticalBIM. [En línea] 2013. <http://practicalbim.blogspot.com.es/2013/03/what-is-this-thing-called-lod.html>.
24. López, Rafael Riera. Planificación y Gestión de proyectos, Capacidades tecnológicas del BIM, BIM A.0 Introducción al BIM. s.l. : Zigurat.
25. Mediciones y Control de costes, Capacidades tecnológicas del BIM, BIM A.0 Introducción al BIM. s.l. : Zigurat.

26. BuildingSMART. Mediciones en BIM. Guía de Usuarios BIM. Octubre 2014, pág. Documento 7.
27. López, Rafael Riera. Estructura e Instalaciones, Capacidades tecnológicas del BIM, BIM A.0 Introducción al BIM. s.l. : Zigurat.
28. Análisis y estudios de eficiencia energética, Capacidades tecnológicas del BIM, BIM A.0 Introducción al BIM. s.l. : Zigurat.
29. How to measure the benefits of BIM - A case study approach. Sullivan, Kristen Barlish & Kenneth. Arizona State University, United States : ELSEVIER, 2012.
30. N. bakis, M. Kagioglou & G. Aouad. Evaluating the business benefits of information systems. University of Salford, Salford : s.n., 2006.
31. López, Rafael Riera. Implantación del BIM en organizaciones, BIM A.0 Introducción al BIM. s.l. : Zigurat.
32. Documentación interna ACTIO Project Management & Engineering, SL.
33. Program, Computer Integrated Construction Research. Project Execution Planning Guide. Pennsylvania : s.n.
34. Unifomat. Construction Specification Institute. [En línea] <http://www.csinet.org/unifomat>.
35. NBS BIM Toolkit. [En línea] <https://toolkit.thenbs.com/articles/classification/#classificationtables>.
36. ITeC. [En línea] <http://itec.cat/noubedec.c/bedec.aspx>.
37. López, Rafael Riera. Facility Management. Uso y mantenimiento, Capacidades tecnológicas del BIM, BIM A.0 Introducción al BIM. s.l. : Zigurat.
38. Arquitectos, Agustí - Balcells. Proyecto Ejecutivo: Vivienda unifamiliar Bellaterra, Cerdanyola. 2007.
39. BIM, Servicios. Servicios BIM. Cómo usar las fases de construcción Revit. [En línea] <http://www.ssbim.com/como-trabajar-con-fases-de-construccion-en-revit/>.